



# **Metsänkäsittelyn vaikutus tuulituhoihin**

Inventointitutkimus kahdella metsänhoito-  
koekentällä

Julia Salonen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014  
Metsätalouden koulutusoh-  
jelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Metsätalouden koulutusohjelma

SALONEN, JULIA:

Metsänkäsittelyn vaikutus tuulituhoihin  
Inventointitutkimus kahdella metsänhoitokoekentällä

Opinnäytetyö 100 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Toukokuu 2014

---

Vessarin ja Honkamäen tutkimusmetsien koekentät on perustettu erilaisten metsänkäsittelytapojen vertailemiseksi. Mukana on keskeisesti jatkuva kasvatus, joka laillistui kylvun vuoden alussa. Molemmilla kentillä on vuoden 2009 hakkuiden jälkeen sattunut lukuisia tuulituhoja eri vuosina useiden eri myrskyjen aiheuttamina.

Työn tarkoituksena on tutkia eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden alttiutta tuulituhoilta sekä sitä mitkä tekijät näille altistavat. Pääpaino on tuulituhossa, koska lumituhon oli sattunut koeruuduilla vain hyvin vähän.

Työn aineistona toimivat Vessarin ja Honkamäen tutkimusmetsissä tehdyt tuulituhopuiden maastomittaukset, loka-marraskuussa 2013. Inventoinneissa merkittiin kaatuneen, katkenneen tai voimakkaasti kallistuneen puun laji, sekä mitattiin rinnankorkeusläpimita, kaatumissuunta ja sijainti. Vuoden 2009 jälkeen tuhoutuneita puita ei ole poistettu tai siirretty koeruuduilta ja ne olivat siksi helposti sellaisinaan mitattavissa. Ennen vuoden 2009 hakkuuta kaatuneet puut on korjattu pois, poikkeuksena kontrolli- ja määrämittahakkuukoalat.

Saadut tulokset puoltavat osaltaan aikaisempia tutkimustuloksia metsän tiheyden, puulajin, puiden koon ja ympäristön avoimuuden vaikutuksesta tuulituhoriskin suuruuteen. Tiheimmillä koeruuduilla oli säännöllisesti pienimmät tuhot, ja mitä suurempi puu oli, sen alttiimpi se oli tuhoille. Myös ympäristön avoimuus lisäsi tuulituhon alttiutta.

Jatkuvan kasvatuksen koeruudet osoittautuivat niiden ja jaksollisen kasvatuksen menetelmien tavoin käsiteltyjen koeruutujen välisessä vertailussa kestävimmiä tuulia vastaan. Tosin yksi käsittelytavoista, jossa oli tehty alaharvennetun puuston väljennyshakkuu (Välj), osoittautui tuhomäärältään joissain määrin jopa kestävämmäksi. Syytä tähän ei tässä tutkimuksessa löydetty, kuin ehkä Välj-ruutujen pieni määrä. Myös tässä vertailussa puuston tiheys, hakkuuvoimakkuus ja puun koko oli vahvassa yhteydessä tuhojen suuruuteen.

Sattumalla on aina osuutensa tuuli- ja lumituhojen määrään ja luonteeseen, siksi kaikkia tuloksia ei voi varauksetta yleistää, varsinkin, niissä vertailuissa, joissa aineisto on ollut pieni. Luotettavien tulosten saamista on joissain tapauksissa vaikeuttanut tarvittavan tarkan tiedon puute.

---

Asiasanat: eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatus, metsänkäsittely, tuulituhot, lumituhot, Vessari, Honkamäki

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in forestry

SALONEN, JULIA:

Forest management methods relation to wind damages  
Stocktaking research on two forest management experimental fields

Bachelor's thesis 100 pages, appendices 4 pages  
May 2014

---

Vessari and Honkamäki are research forests that were established for comparing different forest management methods. In a central part of these methods is the uneven- aged forest management which became legal in the beginning of year 2014. Both of these forests have experienced many strong wind damages in many separate storms after the loggings in year 2009.

This is base work for research of strong wind- and snow damages in forests which are managed with different methods. This work focuses on wind damages because there were only a few snow damaged trees.

Data for this work has been gathered by measuring wind- and snow damaged trees in Vessari and Honkamäki research forests during October- November 2013. Things that were measured included type of damage (falling, breaking or strong inclination) tree species, breast- high diameter, direction of fall and location. These wind damaged trees were left as they were for measurements. Trees damaged before the loggings in year 2009 have been removed apart from experimental plots with control- and cutting minimum diameter logging.

Results agree with the previous research results that forest density, tree species, tree size, soil type, topography and surrounds openness affects to the extent of wind damages. Experimental plots that were very dense had suffered regularly smaller damages. The bigger the tree the bigger was the risk of wind damage. Moreover, openness of the surrounding area increased the risk of damage.

In a comparison between uneven aged (Jk) and even aged (Ah, Sjh and Välj) management experimental plots, uneven aged management plots proved to be most wind resistant. However, one management method where shelter wood cutting had been done to low thinning tree stands (Välj) proved to be by its volume of damage even more wind resistant. One reason could be the small amount of Välj- experimental plots. Density of the tree stand, intensity of cuttings and the size of the tree correlated strongly with volume of wind damages.

Chance always plays a part in the number and characteristics of wind- and snow damages. Therefore, not all results can be generalized without reserve especially in those comparisons where the data volume was low. In some cases making reliable results was difficult due to lack of data.

---

Key words: Uneven aged forest management, Forest management, Wind damages, Snow damages, Vessari, Honkamäki

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TUULET .....	9
2.1	Tuulen vaikutukset metsässä .....	10
2.2	Rajuilmat.....	10
2.2.1	Ukkospilvijärjestelmät .....	11
2.2.2	Syöksyvirtaus .....	11
2.2.3	Trombi.....	12
2.3	Suomessa tänä vuosituhantena esiintyneet rajuilmat.....	13
2.3.1	Pyry ja Janika .....	13
2.3.2	Unto.....	14
2.3.3	Asta .....	14
2.3.4	Veera .....	14
2.3.5	Lahja.....	15
2.3.6	Sylvi .....	15
2.3.7	Tapani.....	15
2.3.8	Hannu .....	16
2.3.9	Eino .....	16
2.3.10	Oskari .....	17
2.3.11	Seija.....	17
2.4	Ennuste Suomen tulevista myrskyistä .....	18
3	LUMITUHOT .....	20
3.1	Esiintyminen ja vaikutus.....	20
3.2	Taloudelliset vahingot ja torjunta .....	21
4	TUULITUHOILLE ALTISTAVAT TEKIJÄT .....	22
4.1	Puuston rakenne, kehitysvaihe, metsänkäsittelytapa, tehdyt hoitotoimenpiteet ja niistä kulunut aika, mahdolliset korjuuvauriot sekä lannoitus.....	22
4.1.1	Puuston rakenne ja kehitysvaihe .....	22
4.1.2	Tehdyt hoitotoimenpiteet ja niistä kulunut aika.....	24
4.1.3	Korjuuvauriot .....	25
4.1.4	Lannoitus.....	26
4.2	Topografia, maaperä, aluskasvillisuus, maantieteellinen sijainti sekä ilmasto- ja sääolosuhteet .....	26
4.2.1	Topografia.....	26
4.2.2	Maaperä.....	27

4.2.3	Aluskasvillisuus .....	28
4.2.4	Maantieteellinen sijainti .....	28
4.2.5	Ilmasto- ja sääolosuhteet .....	28
4.3	Ympäröivä metsä ja muu ympäristö (avoimuus, topografia ym. tekijät) .....	30
4.4	Puulaji .....	30
5	TUULI- JA LUMIUHOJEN ENNUSTEMALLIT .....	32
5.1	Kotimaiset mallit.....	32
5.2	Ulkomaiset mallit.....	34
5.3	Pienoismalli- ynnä muut simulaatiot .....	34
5.3.1	Eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden kestävyys: tuulitunneli- tutkimus .....	35
5.3.2	Ovatko eri-ikäisrakenteiset metsät tuulenkestävämpiä? .....	36
6	VESSARI JA HONKAMÄKI.....	37
6.1	Historiaa.....	37
6.2	Vuoden 2009 hakkuu .....	38
6.3	Topografia, maa-aines ja puusto .....	40
7	TUTKIMUSMENETELMÄ .....	41
8	TULOKSET .....	45
8.1	Puulaji .....	45
8.2	Metsikön tiheys, rakenne ja tuhoutumisaste .....	48
8.2.1	Kaikki koeruudut yhdessä, ja käsittelytavoittain .....	48
8.2.2	Käsittelytavoittain ja ryhmittäin.....	53
8.3	Puun läpimitta .....	58
8.4	Topografia ja maalaji .....	60
8.5	Ympäröivä puusto.....	62
8.6	Puun sijainti metsikössä - etäisyys metsikön reunalta .....	64
8.7	Hakkuun voimakkuus .....	64
8.8	Yksittäisten koeruutujen tarkastelua .....	67
8.8.1	Koeruutu 22 (Yh) ja 28 (Yh).....	67
8.8.2	Koeruutu 131 (Ah) .....	70
8.8.3	Koeruutu 114 (Jk) .....	72
8.8.4	Koeruutu 110, Mm (määrämittahakkuin käsitelty).....	76
8.8.5	Alaharvennetun puuston normaalein suojuspuuhakkuin (Sjh) käsitelty koeruutu 118 .....	78
8.8.6	Loppupäätelmä.....	80
8.9	Jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) ja jaksollisen kasvatuksen menetelmin (Ah, Sjh ja Välj) käsiteltyjen ruutujen vertailua .....	80

8.9.1	Jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) ja jaksollisen kasvatuksen menetelmin (Sjh ja Välj) käsiteltyjen ruutujen vertailua ruuduilla, joilla on tehty hakkuu vuonna 2009 .....	82
8.9.2	Jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) ja jaksollisen kasvatuksen menetelmin (Ah, Sjh ja Välj) käsiteltyjen ruutujen vertailua kaikilla ruuduilla.....	83
8.9.3	Loppupäätelmä.....	84
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	86
	<b>LÄHTEET</b> .....	92
	Liite 1. Vessarin koekenttä .....	97
	Liite 2. Honkamäen koekenttä.....	98
	Liite 3. Vessari – Kaikkien tuhopuiden määrä ja sijoittuminen koeruuduilla yhdistettynä, 5x5 m ruutuihin jaettuna .....	99
	Liite 4. Honkamäki – Kaikkien tuhopuiden määrä ja sijoittuminen koeruuduilla yhdistettynä, 5x5 m ruutuihin jaettuna .....	100

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on lähtöisin Metlan (Metsäntutkimuslaitos) ulkopuoliselta tutkijalta, Parkanon tutkimusaseman emeritusjohtaja, MMT (maatalous- ja metsätieteiden tohtori) Olavi Laiholta, jonka mukaan Vessarin ja Honkamäen koekenttien tuulituhot tarjoaisivat hyvän aineiston jatkuvan kasvatuksen metsiköiden tuulituhojen tutkimiseksi. Sain aiheen tiedoksi opinnäytetyötäni ohjaavan opettajan Petri Keto- Tokoin kautta syksyllä 2013. Aihealue on ainakin Suomessa hyvin vähän tutkittu ja jatkuvan kasvatuksen tulevaisuudessa mitä todennäköisimmin lisääntyessä tutkitun tiedon merkitys kasvaa.

Jatkuva kasvatusta tarkoittaa metsikön kasvattamista niin, että se säilyy jatkuvasti peitteellisenä. Toisin kuin jaksollisessa kasvatuksessa, päätehakkuuta ei tehdä, eikä metsiköllä siis ole mitään kiertoaikaa. Jatkuva kasvatusta tehdään harvennushakkuita kuten jaksollisessakin kasvatuksessa, mutta ne ovat yläharvennusluonteisia ja voimakkaampia. Puukokovalikoima pyritään pitämään monipuolisena. Suurimpia puita poistetaan, kun ne ovat tukkikokoisia ja/tai puusto tarpeeksi tiheää, ja näin mahdollistetaan muun puuston parempi kasvu ja uudistuminen. Metsikön uudistamisessa hyödynnetään luontaisesti syntynyttä alikasvosta. Poimintahakkuiden lisäksi pienaukkohakkuu on pääkäsittelymenetelmä jatkuvassa kasvatuksessa, jolla vapautetaan kasvualaa uuden puusukupolven käyttöön.

Jaksollinen kasvatusta on tällä hetkellä ylivoimaisesti käytetyin metsänkäsittelymuoto, mutta jatkuvan kasvatuksen tullessa Metsälaki-muutoksen myötä hyväksytyksi ja helpommin toteutettavaksi metsänhoidon muodoksi, voi sen käyttö hyvinkin lisääntyä.

Viime vuosina Suomessa on sattunut useita voimakkaita myrskyjä, jotka ovat vaikuttaneet myös erilaisten metsänkäsittelytapojen vertailemiseksi perustetuissa Ruoveden Vessarin ja Mänttä-Vilppulan Honkamäen koekenttien puustoihin. Molemmilla koekentillä on tehty vuonna 2009 hakkuita osalla niiden yhteensä 79 koeruudusta.

Työssä kerrotaan tuuli- ja lumituhoihin vaikuttavista sääilmiöistä yleisesti, vuosina 2001- 2013 Suomessa sattuneista myrskyistä ja kahdesta metsänkasvatuksen päämenetelmästä, sekä niiden muunnoksista. Lisäksi käsitellään tuuli- ja lumituhon altistavia

tekijöitä, tuuli- ja lumituhojen ennustemalleja sekä Vessarín ja Honkamäen tutkimusmetsien historiaa. Kenttäaineistona ovat maastomittaukset loka-marraskuussa 2013 Vessarín ja Honkamäen tutkimusmetsissä.

Teoriatietoa on hyödynnetty mittaustulosten analysoinnissa ja tulosten muodostamisessa. Työssä ei ole kuitenkaan edes yritetty yhdistää yksittäisiä tuhoja eri myrskyihin, lukuun ottamatta Eino-myrskyä, koska kaikkien tuulituhopuiden tarkkaa tuhoutumisajan-kohtaa ei ole määritetty kuin vuositasolla. Näidenkin kohdalla on hyvin sattumanvaraista, ovatko ne oikein. Tarkoituksena on saada selkeä näkemys eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden tuulituhoalttiudesta sekä sille altistavista tekijöistä. Pääpaino on jatkuvan kasvatuksen menetelmillä kasvatettujen metsiköiden tuulituhoalttiuden selvittämisessä.



## 2 TUULET

Tuulet syntyvät lämpötila- ja ilmanpaine-erojen pyrkimyksestä tasoittua, siten, että korkeamman ilmanpaineen alueelle syntyy tuuli puhaltamaan matalamman ilmanpaineen alueelle. Tästä seuraa paine-ero, jota tasaamaan syntyy ylätuuleen verrattuna päinvastaiseen suuntaan puhaltava maanpäällinen tuuli. Pystyvirtauksia syntyy tasapainottamaan vallitsevaa tilannetta, ja tästä edelleen suljettu kiertoliike. Edellä mainittu on hyvin yksinkertaistettu kuvaus, sillä maapallon muodon lisäksi ilman kiertoliikkeeseen vaikuttavat sen pyöriminen itsensä ja auringon ympäri, maa- ja merialueiden muoto ja jakautuminen sekä ilmakehän alimman osan kitka. (Ilmatieteenlaitos 2013a)

Johtuen tuulien mittaamisen vaikeudesta, esim. tuulituhotapauksia varten tehtäviä mittauksia on hankala tehdä luotettavasti, jopa niissä tapauksissa, joissa yksityiskohtaiset mittaukset on tehty lähellä tuhopaikkaa. Joka tapauksessa automaattiset havaintoasemat ovat tuoneet mittauksiin merkittäviä parannuksia tallentamalla maksimiarvoja muutamankin sekunnin mittaisista tuulenpuuskista. Käsitys siitä, että puuskanopeudet ovat 10 minuutin keskituulen nopeuteen verrattuna noin 1,2–1,3-kertaisia merialueilla ja 1,6–1,8-kertaisia maa-alueilla, on vahvistunut; näin on suurimmassa osassa kovatuulisista säätilanteista tehdyissä mittauksissa. (Ilmatieteenlaitos 2013a)

Puuskista voimakkaimmat syntyvät kylmissä ilmavirtauksissa, jolloin muodostuu helposti pystyliikkeitä. Ukkospuuskia syntyy rankkasateen tuodessa pilvestä maanpintaan kylmää ilmaa, joka leviää voimakkaan puuskaisena tuulena laajoille alueille. Ennen kylmää rintamaa ovat ukkospuuskat voimakkaita, mutta paikallisia. Nykyään maa-alueiden tuulivaroituksissa käytetään puuskalukemia, johtuen ainakin ehkä siitä, että juuri puuskat aiheuttavat maalla tuhoja. Alla olevassa taulukossa 1 näkyy millaista tuuli on milläkin 10 minuutin keskituulen nopeudella. (Ilmatieteenlaitos 2013b)

TAULUKKO 1. 10 minuutin keskituulten nopeudet -tuuliasteikko

0 m/s	tyyntä
1-3 m/s	heikkoa tuulta
4-7 m/s	kohtalaista tuulta
8-13 m/s	navakkaa tuulta
14–20 m/s	kovaa tuulta
21–32 m/s	myrskyä
yli 32 m/s	hirmumyrskyä

(Ilmatieteenlaitos 2013b)

## 2.1 Tuulen vaikutukset metsässä

Voimakkuudesta riippuen tuulet aiheuttavat puiden halkeilua, maasta repeytymistä juurineen, ja katkeamista. Puun kaatuessa toisten puiden päälle vahingoittaa se niiden latvuksia, ja taimikoiden tapauksessa yksittäisiä taimia kokonaan ne tuhoamalla tai osittain vahingoittamalla. Näistä kaikista seuraa kasvutappiota. (Metla.fi 2014a)

## 2.2 Rajuilmat

Suomessa esiintyy kesäisin lähes päivittäin sadekuuro- ja ukkospilviä, vaikka maa sijaitsee pohjoisessa ja ilmasto on viileä. Hellepäivien kosteus voimistaa ukkospilvien muuttumista rajuilmoiksi, mistä seuraa voimakasta sadetta ja ukkospuuskia, suuria rakeita sekä mahdollisesti trombeja. (Ilmatieteenlaitos 2013c)

Jotta sade- ja ukkoskuuroja syntyy pitää maanpinnan läheisyydessä olevan ilmakerroksista alimmissa olla riittävästi ilmankosteutta. Lisäksi tarvitaan epävakautta, eli lämpötilan sopivaa pystyjakaumaa, ja vielä jokin laukaiseva tekijä esim. ilman joutuminen pakotettuun nousuliikkeeseen tuulten kohtaamisvyöhykkeellä. (Ilmatieteenlaitos 2013c)

### 2.2.1 Ukkospilvijärjestelmät

Ukkospilvijärjestelmä on monisolukuuroista muodostuva, useiden tuntien ikäinen ja läpimitaltaan yli 100 km:n kokoinen kokonaisuus, joka pystyy pitämään itse yllä uusien ukkoskuurojen tuotantoa. Tällaisia laajoja konvektiivisia järjestelmiä esiintyy Suomessa yleisesti. Niitä on myös runsaasti salamointia ja hyvin rankkaa sadetta sisältävinä, joita havaitaan useita kymmeniä vuosittain. Rakeita, trombeja ja erittäin voimakkaita ukkospuuskiakin saattaa esiintyä. Kestoa yhdellä järjestelmällä on keskimäärin 5-12 tuntia, ja tänä aikana se ehtii kulkea jopa satoja kilometrejä. Erittäin voimakkaat ukkospuuskajärjestelmät ja niihin liittyvät ukkospuuskat olivat aiheuttajina esimerkiksi suurelta osin kesän 2010 rajuilmojen vahingoissa. (Ilmatieteenlaitos 2013c)

### 2.2.2 Syöksyvirtaus

Syöksyvirtauksen saa aikaan ukkospilveen muodostuva sadevesi ja sen painosta seuraava ukkospilven laskeva ilmapvirtaus. Erinäisten vaiheiden jälkeen virtaus saavuttaa maanpinnan leviten sitä pitkin eri suuntiin, ja tämä kylmä ilma on tuntemamme ukkospuuska. Puuskien voimakkuutta vahvistavat ukkospilvien esiintyminen samaan aikaan voimakkaiden ilmapvirtausten kanssa. Kun ukkospilviä ollessa rykelmässä useita, voivat ukkospuuskat levitä hyvin laajalle, myös täysin poutaiselle alueelle, ja ääritapauksessa syntyä syöksyvirtausparvia. (Ilmatieteenlaitos 2013d)

Syöksyvirtauksissa esiintyvän tuulen eteneminen maanpinnalla on osaltaan suoraa tai lievästi kaartuvaa, jolloin myös sen kohteeksi joutuvat puut kaatuvat pääosin samaan suuntaan, puiden kaatumiskuvion usein ollessa lievästi hajaantuva. Myös liikkeiltään hyvin nopea trombi voi aiheuttaa samankaltaista tuhoa. Syöksyvirtauksen aiheuttamaksi tuhon kuitenkin tunnistaa siitä, että tuhopaikalta puuttuu aivan maanrajassa esiintyvät jäljet, eikä ole havaittavissa isojen esineiden pitkän matkan – jopa satojen metrien tai kilometrin – siirtymisiä. (Ilmatieteenlaitos 2013d)

Tuulisella vyöhykkeellä esiintyy mitä suurimmalla todennäköisyydellä suppeilla alueilla laajan puuskaisuuden lisäksi voimakkaita puuskia, jotka voivat aiheuttaa jopa aivan hyväkuntoisen ja täysikasvuisen metsän täystuhon satojen metrien matkalta. Yhden syöksyvirtausparven reitillä tällaisia voi olla kymmeniä. (Ilmatieteenlaitos 2013d)

Suomessa tuulen nopeus jää ukkospuuskissa useimmiten alle 15 m/s, kun merkittäviä tuhoja aiheuttaviin tuuliin tarvitaan yli 20 m/s nopeita puuskia. Kesäisin on monia päiviä, jolloin näin voimakkaita ukkospuuskia aiheuttavia ukkospilviä esiintyy. Edellä mainittuja aukkotuhoja aiheuttavia ukkospuuskia taas esiintyy huomattavasti harvemmin, noin pari kesässä, rajoittuen vielä hyvin pienikokoisille alueille. Tuulen nopeus on sitten sitäkin suurempi, jopa yli 50 m/s, mutta aivan näin voimakkaat puuskat ovat erittäin harvinaisia. (Ilmatieteenlaitos 2013d)

Syöksyvirtausparvia, jotka aiheuttavat laajalla alueella merkittäviä vahinkoja esiintyy hyvin harvoin, ja syöksyvirtausparvia yleensäkin noin yksi vuosikymmenessä. Ainoita tällaisiksi varmistettuja ovat tähän mennessä 30.7.2010 esiintynyt Asta - ja 5.7.2002 tuhoja tehnyt Unto-rajuilma. (Ilmatieteenlaitos 2013d)

### 2.2.3 Trombi

Kuuro- tai ukkospilven nousuvirtauksen yhteyteen syntyvä trombi on hyvin voimakas, paikallisesti esiintyvä, suppea-alainen ja lyhytkestoinen pyörretuuli, jonka halkaisija on yleensä noin muutamasta kymmenestä satoihin metreihin. Ilma pyörii sinä nopeasti pysty akselinsa ympäri, tuulen nopeuden ollessa pyörteessä vähintään 18 m/s. Luonteensa vuoksi trombin voimakkuutta voidaan arvioida lähinnä vain jälkikäteen sen aiheuttamien tuhojen perusteella. (Ilmatieteenlaitos 2013e)

Trombin tuhojälki on pitkä ja kapea, leveyden ollessa Suomessa noin 50–100 m., ja pituuden sadoista metreistä useisiin kymmeniin kilometreihin. Mitä voimakkaampi trombi, sitä leveämpi ja pidempi on tuhojälki. Pyörteen etenemis- ja pyörimisnopeus reitillään määrää osin voimakkuuden ja suunnan tuulelle. Metsätuhoista sen näkee ainakin siten, että puiden ollessa kaatuneena puolikaaren muotoon pyörteen etureunassa, on kyseessä ollut suuri pyörimisnopeus. Kun reitin kaikki puut ovat kaatuneet pyörteen etenemissuuntaan, on etenemisnopeus ollut suuri. Tällainen jälki muistuttaa erehdyttävästi syöksyvirtauksen aiheuttamaa tuhoa, mutta erottaa siitä siten, että tuhoalueet ovat syöksyvirtauksissa yleensä laikuittaisia, hajaantumista on enemmän puiden kaatumissuunnassa, ja tuhoalueen reuna on trombissa tarkkarajaisempi. Ilmakuvista nähdään parhaiten tuhot. (Ilmatieteenlaitos 2013e)

Suomessa havaitaan trombeja noin 14/ vuosi, ja merkittävän voimakkaita noin joka toinen vuosi. Trombeja on havaittu maassamme huhtikuusta marraskuuhun, ja eniten, 73 %, niistä esiintyy heinä-elokuussa. Havaintoajankohtana on tyypillisimmin iltapäivä tai alkuilta. Eniten trombeja esiintyy Suomen itäosassa sekä eteläisillä ja lounaisilla meri-alueilla, vähiten Lapissa sekä maan länsiosan sisämaa-alueilla. (Ilmatieteenlaitos 2013e)

## **2.3 Suomessa tänä vuosituhantena esiintyneet rajuilmat**

Suomessa on vuosina 2001–2013 sattunut useita rajuilmoja, joilta on säästynyt ainoastaan Pohjois-Suomi. Huomattavaa lähes kaikissa myrskyissä on ollut niiden voimakkuus aikaisempina vuosina esiintyneisiin myrskyihin verrattuna.

### **2.3.1 Pyry ja Janika**

30.10–2.11.2001 tapahtuneessa Pyry-myrskyssä (oikeammin kovassa tuulessa) tuhoja aiheutui ensin puiden latvuksiin tarttuneesta lumesta, näin syntyneen lumikuorman sitten katkoessa puita rungon puolivälistä, ja tämän jälkeen voimistuneen tuulen kaataessa puita juurineen. Keskituulen nopeudet sisämaan mittausasemilla olivat 10 minuutin keskinopeuksilla 14–18 m/s (Kaleva.fi). Myrsky painottui lähinnä Etelä-Pohjanmaan eteläosaan ja Läntiseen Keski-Suomeen (Metsätieteen aikakausikirja, 1).

15.11.2001, yli vuorokauden riehunut Janika-myrsky oli voimakkaimmillaan, ja sai eniten tuhoa aikaan Pirkanmaalla, Itä-Hämeessä ja Uudellamaalla. Lisäksi rajua tuulta esiintyi Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Pohjanmaalla. Tuulen nopeus merillä oli 26–30 m/s, ja sisämaan 10 minuutin keskituulet taas 12–18 m/s ja järviasemilla parhaimmillaan 17–22 m/s. Maa- alueiden puuskaisuus ylitti reilusti 21 m/s. Myrsky kaatoi juurineen kuusi- ja mäntymetsää, ja kaatumissuunta oli pääosin etelä, säteittäin kaatui- vat yksittäiset ryppäät. (Kaleva.fi 2002)

Molemmissa myrskyissä puuskan nopeudet ylittivät myrskyrajan. Janikassa esiintyi jopa 30–50 m/s liikkuvia puuskia. (Metsätieteen aikakausikirja, 1) Pyry- ja Janika-

myrskyjen puustotuhoiksi on arvioitu yhteensä noin 7,3 miljoonaa m<sup>3</sup>. (elykeskus.fi 2013)

### 2.3.2 Unto

5.7.2002 hyvin rajusti ukkostaneen Unton kaatama puumäärä lähenteli miljoonaa kuutiometriä. (MTV3-uutiset. 2010b). Se on Astan lisäksi ainoa rajuilma, jossa on varmistettuja syöksyvirtausparvia. (Ilmatieteenlaitos 2013d)

### 2.3.3 Asta

29–30.7.2010 kaakosta yöllä saapuneen, ja läpi Suomen kulkeneen rajuilman reitti oli Etelä-Karjalasta Keski-Pohjanmaan suuntaan. Astaan liittynyt syöksyvirtausparvi esiintyi yöaikaan, mikä on epätavallista. 29 m/s Rantasalmella oli korkein mitattu puuska-nopeus, mutta kovempiakin puuskia on paikoin voinut hyvinkin olla. Metsätuhot olivat mittavia, etenkin Etelä-Savossa ja Etelä-Karjalassa. (Ilmatieteen laitos 2010f). Yksistään Sulkavalla kaatui kymmeniä tuhansia puita (Yle.fi 2010). Myrsky oli samankaltainen vuoden 2002 Unto-myrskyn kanssa (Ilmatieteen laitos 2011). Viime vuoden marraskuussa annetun lausunnon mukaan yksistään Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella on myrskytuhojen laajuus useista sadoista tuhansista jopa puoleen miljoonaan kuutiometriin kaatunutta puuta (Tekniikka & talous 2014)

### 2.3.4 Veera

Tämä 4.8.2010 esiintynyt rajuilma sai alkunsa voimakkaan ukkosrintaman syntyessä Pirkanmaalla, ja painottui maan keskivaiheille, jonne se iltapäivän aikana kulkeutuikin. Täältä se sitten eteni Pohjois-Savon, Kainuun ja Koillismaan yli. Toisen ukkosrintaman reitti meni Itäiseltä Suomenlahdelta Vienan Karjalaa kohti. (MTV3-uutiset 2010a). Veeran tuhovoimaa kasvattivat ukkoskuuroista syntyneet voimakkaat puuskat ja suuret rakeet. Syöksyvirtauksia havaittiin monin paikoin (Ilmatieteen laitos 2010a), ja maasalamia paikannettiin huomattavan monta, yli 22 000. (Ilmatieteen laitos 2014) Vuoden 2013 marraskuun tietojen mukaan myrsky sai aikaan merkittävät metsävahingot Keski-Suomessa, Pohjois-Karjalassa, Pohjois-Savossa ja Pirkanmaalla. Tuhojen painopiste oli Pohjois-Karjalassa maakunnan itäosan harvaan asutut metsäalueet.

Yhdessä Asta- ja Veera-myrskyjen arvioitu tuhopuun määrä on n. 1,6 miljoonaa m<sup>3</sup>. (Tekniikka & talous 2014).

### 2.3.5 Lahja

7.8.2010 esiintyneen Lahjan tuhot rajoittuivat melko kapealle, maan lounaisosasta yli Pirkanmaan entistä Oulun lääniä kohti ulottuvalle alueelle. Korkeimmaksi puuskalukemaksi mitattiin Tampereen Siilinkarilla 25 m/s, ja ukkospuuskiin liittyen annettiin kolme viranomaistiedotetta Ilmatieteen laitokselta illan aikana. (Ilmatieteen laitos 2014)

### 2.3.6 Sylvi

8.8.2010 vahinkoja tehnyt Sylvi-myrsky päätti vuoden 2010 kesän myrskyjen sarjan. Se sai alkunsa Baltiassa kehittyneestä ukkosrintamasta, joka saapui Suomenlahden rannikolle 100 km leveänä MCS-järjestelmänä (ukkospilvijärjestelmä), syvälle sisämaahan edeten. (Tähtitieteellinen yhdistys URSA 2010). Myrskyyn liittyi rajua ukonilmaa ja tuulenpuuskia, todella suuria rakeita sisältävä raekuuro Pirkanmaalla sekä voimakkaita syöksyvirtauksia. Illalla saapui etelästä voimakas, järjestäytynyt ukkoskuuronauha. Puuskalukemiksi saatiin Porin ja etelästä saapuneessa ukkosessa jopa 32 m/s. Vuorokauden aikana paikannettiin ainakin 24 000 maasalamaa. (Ilmatieteen laitos 2014).

Laajoilla alueilla Uuttamaata, Kymenlaaksoa, Hämettä, Etelä-Savoa, Pirkanmaata, Satakuntaa ja Pohjanmaata tapahtui puiden kaatumista, rakennusten kattojen repeytymistä ja sähkökatkoja. Suurimmat tuhot sattuivat Porissa. (Ilmatieteen laitos 2011)

### 2.3.7 Tapani

Tämä myrsky teki tuhojaan 26.12.2011, ja sai alkunsa 24.12.2011 (Meteorologisk institutt 2014) ja (HBL.fi 2014) havaittuna heikkona myrskynä Newfoundlandin eteläpuolella (December 24, 2011 surface analysis. 2014), edeten sieltä Atlantin valtamerelle, jolloin sen ilmanpaine oli joulupäivänä matalimmillaan. Norjan myrsky saavutti 26.12.2011 (December 26, 2011 surface analysis, 2014) ja (December 26, 2011 surface analysis. 2014) jatkaen matkaansa itään reippaalla nopeudella. Venäjälle myrsky oli

mennyt maitse ja sen saavuttaessaan ehtinyt heikentyä melkoisesti. (December 27, 2011 surface analysis 2014) Yhdessä Hannu-myrskyn kanssa Tapanin arvioidaan aiheuttaneen Etelä- ja Lounais-Suomen metsissä noin 3,5 miljoonan kuutiometrin tuhot, mikä tarkoittaa noin 120 miljoonaa euroa. (mmm.fi 2010a) ja (MTV3-uutiset 2012). Yksin Tapanista kertyi vakuutusyhtiöille maksettavaksi korvauksia noin 70 miljoonan euron verran muun muassa metsätuhoista. (MTV3-uutiset 2012)

Pahimmat tuhot tulivat Vaasa-Lappeenranta-linjan eteläpuolelle, ja suurin vahinko metsällä koitui ruotsinkieliselle rannikolle, Lounais-Suomeen, Satakuntaan, Uudellemaalle ja Hämeeseen. Uudenmaan metsäreviirillä erityisesti tuoreet harvennushakkuut saivat myrskystä osansa, ja siemenpuitakin oli kaatunut paljon. Puita oli kaatunut rannikon lähellä paljon juurakoineen, ja murtuneitakin oli runsaasti. Sisämaassa taas osin märän maan johdosta suurin osa puista oli kaatunut juurineen. (Maaseudun tulevaisuus.fi 2011). Koko maata ajatellen, metsää kaatui paikoin runsaasti sellaisilta alueilta, joissa tuuli pääsi etenemään esteettömästi; samalta alueelta jopa hehtaareja. (myrskybongarit.fi 2012)

Suurin puuskalukema merellä oli 36,4 m/s, ja maa-alueilla 31,5 m/s. (Ilmatieteen laitos 2013f)

### **2.3.8 Hannu**

Samaa reittiä Tapanin kanssa maahamme saapunut myrsky ei jättänyt lähes lainkaan väliä Tapanin heikkenemisen jälkeen, kun se jo samana iltana Tapanin heikennyttyä saapui maahamme. Hannu ei heikompana matalapaineena yltänyt niin koviin nopeuksiin kuin edeltäjänsä, mutta sähkökatkoja se aiheutti, ja jo meneillään olevien korjaustöiden selvää vaikeutumista. (myrskybongarit.fi 2012)

### **2.3.9 Eino**

17.11.2013 aamuyöllä Suomen länsirannikolle Vaasan ja Kokkolan välille saapunut voimakas matalapaine liikkui päivän aikana Suomen yli itään, siten, että voimakkaimmat tuulet täällä kohdistuivat maan keskiosiin. Vain Lappi välttyi tuulivahingoilta. Il-



matieteen laitoksen mukaan suurin havaittu keskituulen nopeus, 27 m/s, mitattiin Raahen Nahkiaisissa. (Ilmatieteen laitos 2013f)

Maa-alueilla hetkittäiset puuskat aiheuttivat tuulivahinkoja, ja niistä kovin, 27,3 m/s mitattiin Savonlinnan lentoasemalla. Monia yli 20 m/s puuska - havaintoja tehtiin maan etelä- ja keskiosien havaintoasemilla. 29 m/s lukemia saatiin Keski- ja Itä-Suomen järvialueiden sääasemilta. Suurin puuskalukema merillä oli Kaskisten Sälgrundissa, 32,9 m/s. (Ilmatieteen laitos 2013f)

Lähes koko maan etelä- ja keskiosan alueet, joissa on paljon metsää ja kotitalouksia altistuivat Einon koville tuulille, aiheuttaen näin pahoja sähkökatkoja. Roudaton maa ja kostean alkukuun tavanomaista suurempi sademäärä aiheuttivat edellä mainitun lisäksi sen, että puustolle tuli tuulien voimasta vahinkoja helpommin. (Ilmatieteen laitos 2013f)

Maa- ja metsätalousministeriön mukaan puutuhvoja myrskystä kertyi kaiken kaikkiaan 60 miljoonaa euroa. Eniten tuhoja kertyi juuri Keski-Suomeen ja Etelä-Savoon. Myyntitulojen menetykset metsänomistajille olivat noin 30 miljoonaa euroa. (Maaseudun tulevaisuus.fi 2013)

### **2.3.10 Oskari**

Suomen 1.12–2.12.2013 ylittänyt Oskari-myrsky saavutti tuulen nopeudessa huippulukemansa Ahvenanmaan Märketissä, jossa kovin keskituuli oli 27,9 m/s, ja kovin puuska 34,4 m/s. Helsinki-Vantaan asemalla taas oli maa- alueen kovin puuska; 26,4 m/s. Voimallisimmin Oskari iski maan etelä- ja keskiosaan. Tuhot eivät kokonaisuudessaan kuitenkaan yltäneet Einon tasolle, koska puuskat olivat sitä heikompia, poikkeuksena Etelä-Suomi. (MTV3-uutiset. 2013a).

### **2.3.11 Seija**

Tämän 13.12.2013 riehuneen, harvinaisen voimakkaan talvimyrskyn on sanottu olleen paikoin jopa Tapani-myrskyä voimakkaampi. Myös tässä maa-alueen kovin puuskalukema saatiin Helsinki-Vantaan lentoasemalla, 29,8 m/s. Raumalla taas saatiin merialu-

eiden kovin puuska, 36,8 m/s. Kaskisissa mitattiin kovin keskituuli merellä, 30,7 m/s. Aallokko oli korkealla. (Iltalehti.fi 2014a)

Suomen maakunnista voimakkaimmat puuskat kohdistuivat Satakuntaan, Varsinais-Suomeen, Kanta-Hämeeseen ja Uudellemaalle, paikoin myös Keski- Suomeen, Etelä-Savoon ja Pohjois-Karjalaan. Näillä alueilla oli myös suurimmat metsätuhot, tosin laajamittaisten yhtenäisten tuhojen sijaan puita oli kaatunut laajana pieninä ryhminä. Jonkin verran jäätyneen maaperän ansiosta tuuli ei kaatanut puita niin paljon, kuin olisi muutoin kaatanut. (Metsäkeskus 2014a).

Maa- ja metsätalousministeriön 17.12.2013 antaman lausunnon mukaan puuta kaatui noin miljoona kuutiometriä, yhteensä 30–40 miljoonan euron edestä. Lounais-Suomen osuus puumäärästä oli kolmasosa, ja 10–12 miljoonaa euroa. (Kauppalehti.fi 2014a)

## 2.4 Ennuste Suomen tulevista myrskyistä

Ilmatieteen laitoksella on päädytty siihen, että ilmastonmuutoksen edistämänä Suomeen saapuvat myrskyt voivat vahvistua tulevaisuudessa. Sitä, voimistuvatko ne Suomen etelärannikolla vai eivät, ei voida vielä sanoa, mutta harvinaisten ja poikkeuksellisten myrskyjen voimakkuuksien kasvua on havaittu Pohjois-Suomesta itään Kuolan niemimaalle asti, tosin kasvu tulee rajoittumaan keskimäärin vain 2-6 prosenttiin. (Ilmatieteenlaitos 2013a)

Kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei äärisäätilanteiden mallikeskiarvojen ja keskimääraisten muutosten perusteella kuitenkaan voi tehdä, vaan lähinnä vain suuntaa antavia päätelmiä. Voimakkaimmissa myrskyissä on 10 minuutin keskituuleksi saatu merellä 31 m/s. Tulevaisuudessa, voimakkaimmat myrskyt voisivat saavuttaa 31,6–32,9 m/s, jos voimistumista todella tapahtuisi. Näin voitaisiin päästä jopa hirmumyrskylukemiin eli 32,7 m/s. Myrskyjen voimistuminen ja merenpinnan nousu voisi aiheuttaa maassamme pahenevia rannikkotulvia. (Ilmatieteenlaitos 2013a)

Ilmaston lämpenemisen seurauksena myrskymatalapaineiden kokonaismäärä todennäköisesti vähenee koko maapallon mittakaavassa, mutta äärimmäisen kovia myrskyjä tulee sitten enemmän (MTV3-uutiset 2013b).

Kokonaisuudessaan myrskyjä on arvioitu olevan tulevaisuudessa aiempaa vähemmän, koska napa-alueiden ja päiväntasaajan lämpötilaero pienenee. Merten lämpenemisen ja ilmakehän kosteusmäärän kasvun ilmaston lämpenemisen johdosta taas nähdään olevan syynä voimakkaiden myrskyjen lisääntymiselle. Nämä tekijät kasvattaisivat voimakkaita myrskyjä ja niiden tuhovoimaa entisestään. Myös meriveden pinnan nousu voi toimia vahvistajana. (MTV3-uutiset 2013b).

Vielä hieman hataralla pohjalla oleva vaikutin Suomen myrskytuhoihin on myrskyratojen sijainnin muuttuminen. Ilmastonmuutos lisää edetessään myrskyjen voimakkuutta ja niihin liittyviä riskejä Brittein saarilta Baltiaan ulottuvalla alueella. Suomi sijaitsee raja-alueella, jossa muutokset ovat vaikeammin havaittavissa. Myrskytuhojen määriin täällä vaikuttavat lisäksi muun muassa routajakson pituus. (MTV3-uutiset 2013b)

### 3 LUMITUHOT

Lumituho edellyttää märän tiiviin lumen ja alijäähtyneen veden jäätymistä puiden latvuksiin. Puiden oksat murtuvat lumimassan kerryttyä tarpeeksi suureksi. Taimikoiden keväisiä lumituhoja sattuu hankien pintojen laskiessa, kun taimien oksat, jotka ovat jääneet kiinni lumipeitteen jäätyneisiin kerroksiin, eivät enää kestä hangen painoa. Toisin kuin Keski-Euroopassa, ei Suomessa ole lumivyöryillä metsätaloudellista merkitystä. Suomessa lumituhoja esiintyy kaikkialla, keskittyen Etelä-Suomessa Suomenselän alueelle ja Pohjois-Karjalan vaara-alueille. Tavallisimpia ne ovat Pohjois-Suomen korkeilla alueilla. (MetINFO 2014a).

#### 3.1 Esiintyminen ja vaikutus

Kaikilla puulajeilla on riski joutua lumituhon kohtaamaksi, mutta kaikkein alttiimpia ovat juuri harvennetut, pitkään ylitiheänä kasvaneet männiköt. Lumen painamaksi joutuminen on tavallista nuorille, ohutrunkoisille puille, kun taas vanhimmat puut saavat latvamurtojen lisäksi oksien tai rungon katkeamisia. (MetINFO 2014a).

Kun märkä lumi jäätyy nopeasti puiden latvukseen, syntyy lumenmurtoja, mitä voi vielä pahentaa kova tuuli. (MetINFO 2014a).

Lumi voi jättää puihin pysyviä jälkiä. Puiden oksien katkomisen ja runkojen murtamisen lisäksi lehtipuilla lumi taittaa runkoa niin, ettei runko enää palaudu suoraksi. Kuusenrunkon oksan tyveen voi tulla runsaslumisilla alueilla kyhmyjä seurauksena lumen painon rasituksesta ja vioituksista. Alttius tällaiseen on johtanut Pohjoisen runsaslumisilla alueilla siihen, että siellä on vallalla kapealatvaisen kuusen muodot. (MetINFO 2014a).

### 3.2 Taloudelliset vahingot ja torjunta

Lumenmurrot tekevät puista ei-halutun muotoisia, ja lisäävät niiden riskiä altistua sieni- ja hyönteistuhoilille. Kaikenikäisille puille voi koitua myös merkittäviä kasvunmenetyksiä. (MetINFO 2014a).

Tuhojen torjumiseksi on hyvä tietää, että alttiimpia tuhoille ovat ylitieheänä kasvaneet, ja äskettäin harvennetut puustot. Mitä harvemmassa puu kasvaa ja mitä voimakkaammin puu kapenee, sen pienemmässä vaarassa se on joutua lumituhon kohteeksi. Esim. mänty on kuusta herkempi vaurioitumaan lumen ja tykyn painosta. Torjuntakeinoina ovat etenkin männiköissä riittävän harva ja usein toistuva harventaminen. (MetINFO 2014a) ja (mmm.fi 2010b).

## 4 TUULITUHOILLE ALTISTAVAT TEKIJÄT

Puiden tuulituhoherkkyyteen vaikuttavat monet tekijät, joiden lopullista osuutta tuulituhossa voi olla vaikea määrittää. Näitä ovat myrskyn luonteen ja ajankohdan lisäksi aikaisemmat myrsky- ym. tuhot, maantieteellinen sijainti, sekä metsikön ominaisuudet, kuten esimerkiksi aluskasvillisuus, puuston tiheys ja puiden koko- ja puulajijakauma.

### 4.1 Puuston rakenne, kehitysvaihe, metsänkäsittelytapa, tehdyt hoitotoimenpiteet ja niistä kulunut aika, mahdolliset korjuuvauriot sekä lannoitus

Metlan ulkopuolinen tutkija, Parkanon tutkimusaseman emeritusjohtaja, MMT (maatalous- ja metsätieteiden tohtori) Olavi Laiho viittaa vuonna 1987 julkaistussa Metsäntutkimuslaitoksen Metsähallinnon Parkanon hoitoalueen Itä-Aureen ja Kurun piirin Aarnomyrskyn tuulituhoihin pohjautuvassa julkaisussaan *Metsiköiden alttiut tuulituholle Etelä-Suomessa*, useisiin tutkijoihin (Goss 1961, Neustein 1965, MacKenzie 197 jne.), jotka ovat tutkimuksissaan päätyneet nykyisten metsänhoitomenetelmien olevan merkittävä tekijä tuulituhojen lisääntymisessä. Ruotsin vuoden 1969 suurtuhosta tehdyn tutkimuksen (Persson 1975) mukaan, varsinkin avohakkuut, voimakkaat harvennukset, siemen- ja suojuspuuasennot sekä lannoitus ja yli-ikäisyys altistavat myrskytuhoille. Myös Suomessa on päädytty samaan johtopäätökseen niin tutkimuksen, kuin käytännön havaintojenkin pohjalta. (Laiho 1987, 12.)

#### 4.1.1 Puuston rakenne ja kehitysvaihe

Harvemmassa metsässä tuuli pääsee etenemään nopeammin ja suuremmalla voimakkuudella. Näin myös pienillä metsikkökuvioilla, joiden suuri määrä lisää tuulille altista reunapuustoa. Tiedetään, että tuulen nopeus hidastuu alkuperäisestä 30 metrin matkalla 60–80 %:iin, 60 metrin matkalla 50 %:iin ja 120 metrin matkalla 7 %:iin (Barry & Chorley 2010, 405).

Myös Laihon tutkimusten mukaan puuston tiheydellä on suuri vaikutus tuhomäärään, siis tuhon ollessa säännöllisesti suurempaa pienemmän pohjapinta- alan (ppa) metsiköissä. Tosin pohjapinta-alan yksinään Laiho mainitsee huonoksi tunnuksesi, koska metsiköitä on niin monissa erilaisissa kehitysvaiheissa, mutta valtapituuden merkitys tuhomäärissä osoittautui suureksi. Ylispuuston tuhot olivat suhteellisesti suurimmat, ja tuhomäärän kasvu puun pituuden mukana oli jyrkkää, myös puuston vanhentumisensa myötä harventuessa. Nuorten kasvatusmänniköiden tuhoaste nuoriin kuusikoihin verrattuna oli selvästi suurempi, jopa kolminkertainen. Puiden vanhetessa ero vähitellen taasoittui, niin, että kuusi meni tuhoasteessa jopa männyn ohi. (Laiho 1987, 12.)

Myös Hannu Yli-Kojolan Suomen metsien vuosien 1986–94 tuulituhojen tutkimuksessa mainitaan tuulituhoja esiintyvän eniten pitkissä puustoissa, ja kuusivaltaisissa metsissä tuhot olivat keskittyneet mäntyvaltaisia enemmän pitempään puustoon. Tosin Pohjois-Suomessa tilanne oli päinvastainen. Etelä-Suomessa eniten puuta oli kaatunut yli 15 m pitkissä puustoissa, ja järeäpuustoissa metsiköissä tuhojen jakautuminen oli tasaisempaa kuusi- kuin mäntyvaltaisissa metsiköissä. (Yli-Kojola 2004, 60.)

Siemen- ja suojuspuualat osoittautuivat erityisen tuulituhoherkiksi, vaikka mäntyä oli valtaosa. Toiseksi suurimmat tuhot olivat yli-ikäisissä tai vähäpuustoissa vajaatuotto-metsissä, ja kuusi kärsi näillä aloilla eniten, vaikka lahokin oli niillä hyvin vähäistä. Edes terve juuristo ei siis juuri vähennä ikääntymisen myötä tulevaa jyrkkää alenemaa tuulenkestävyydessä. Kuusen suurempi herkkyys kaatua mäntyyn verrattuna ilmenee jo uudistuskypsissä metsiköissä. (Laiho 1987, 12.)

Yli-Kojola mainitsee vuonna 2004 ilmestyneessä julkaisussaan *Tuulituhojen esiintyminen Suomen metsissä 1986-94, Metsätieteen aikakauskirja*, että Pohjois-Suomessa enimmät tuulituhot esiintyvät suhteellisesti vanhemmissa metsissä, kuin Etelä-Suomessa. Etelä-Suomessa tuulituhometsiköiden keski-ikä oli 87 vuotta ja Pohjois-Suomessa 139 vuotta, ja syynä voi olla Pohjois-Suomen yli-ikäisten metsien suuri määrä. Yli 140-vuotiaissa mäntyvaltaisissa metsissä oli lähes puolet tuulituhosta, ja kuusivaltaisissa 75 %. Kuusivaltaiset metsät olivat mäntyvaltaisia jonkin verran vanhempia Etelä-Suomessa, vaikka tuulituhot keskittyivätkin kuusivaltaisissa metsissä enemmän nuoriin metsiin. Etelä-Suomessa tuhojakauma kuusella oli varttuneissa kasvatusmetsissä 50 %, uudistuskypsissä 40 % ja nuorissa kasvatusmetsissä 10 %. Männyllä taas lukemat

ovat 15 %, 30 %, 30 %, siemenpuumetsiköissä 15 % ja suojuspuumetsiköissä 5 %. (Yli-Kojola 2004, 60–63.)

Yli-Kojola on päätenyt tutkimuksessaan siihen, että puuston laatua alentavat tuhot kasvavat puuston ikääntymisen myötä. Hänenkin aineistossaan siemenpuumännyt olivat kärsineet paljon tuhoa, ja samalla vahingoittaneet myös alla varttuvaa taimikkoa. siemenpuumetsiköille koituikin yleensä täydellinen tuho. (Yli-Kojola 2004, 63.)

#### **4.1.2 Tehdyt hoitotoimenpiteet ja niistä kulunut aika**

Mitä vähemmän aikaa tehdystä hakkuusta, esim. harvennuksesta on, sitä huonommin puusto on ehtinyt sopeutua vallitsevaan tilanteeseen esim. vahvistamalla juuristonsa kiinnittymistä maaperään, ja sitä alttiimpi se on tällöin tuulituhoille. Tätä vahvistavat myös Laihon saamat tulokset, joissa hän mainitsee hakkuiden keskimäärin kolminkertaisen tuhomäärän. Nimenomaan hakkuusta kuluneella ajalla on erittäin paljon merkitystä. 4-8 vuotta hakkuusta lähes tasaa vaikutuksen. Jos reunapuusto säästyy tuhoilta, siitä todennäköisesti kehittyy hyvin kestävä tuulta vastaan, ja näin ollen se suojaa myös metsää, jota se ympäröi. (Laiho1987, 14 & 16.)

Zeng Hongcheng on väitellyt vuonna 2006 tuulituhojen riskeistä reunametsissä metsäaluetasolla metsien avohakkuissa. Paikkatietoon ja mallinnukseen perustuvat kokeet on tehty Keski-Suomessa. Analyysseissa todettiin, etteivät hyvin intensiivisetkään avohakkuut muuttaneet merkittävästi keskimääräistä tuulennopeutta metsäaluetasolla. Kuten Hongcheng oletti, paikallinen tuulennopeus kyllä kasvoi. Itse asiassa vanhojen riskialttiiden metsien hakkuu jopa vähensi tuulituhoriskiä metsäaluetasolla lyhyellä tähtäimellä. Riskit lisääntyivät taas silloin, kun hakattavaksi joutuivat pelkästään uudistuskypsät, yli 100 vuotta vanhat metsiköt, jolloin muut metsät joutuivat tuulituhojen riskivyöhykkeeseen, jopa niin, että metsäaluetasolla riskit kasvoivat. (Hongcheng, Z. 2006.)

Heli Peltola mainitsee loppuraportissaan yläharvennuksen olevan alaharvennusta riskialttiimpi harvennustapa, varsinkin kuusella ja riskialueilla, joilla sitä tulisi käyttää vain tarkan harkinnan jälkeen. Ilmastomuutoksen myötä ohjeen merkitys kasvaa. (Peltola 2010.)



Ruotsissa on tehty, kirjoittamishetkellä melko tuore, tutkimus harvennuksen vaikutuksista myrsky- ja lumituhoihin metsäkuusella. Koe toteutettiin Norrköpingissä Etelä-Ruotsissa. Harvennuskokeissa käytetyt käsittelytavat olivat harventamaton, normaalisti harvennettu (30 % alan puustosta poistettu) ja reilusti harvennettu (60 % alan puustosta poistettu). Kokeista saatujen tulosten pohjalta voidaan johtopäätöksenä tehdä ainakin se, että harventaminen lisää myrskytuhojen riskiä. Harvennusasteen ja myrsky- ja lumituhojen välillä on vahva lineaarinen yhteys. Samoin myrskyn vahingot lisäävät tulevien myrskyjen vahinkoriskiä (Wallentin & Skog 2013).

Runkomuodolla näyttää olevan vaikutusta kestävyYTEEN, ja vahinkotyyppi on yhteydessä harvennusasteeseen siten, että raskaasti harvennetuilla aloilla on selvästi enemmän runkojen vahingoittumista. Puilla, jotka kärsivät runkonsa rikkoutumisesta, oli selvästi suurempi kasvunopeus verrattuna muihin puihin ennen myrskyä, ja läpimitan kasvu väheni myrskystä ja lumituhosta selvinneillä puilla (Wallentin & Skog 2013).

Koetuloksista tehdyissä hoitosuosituksissa mainitaan, että myrskytuhojen riski on aina pienin harventamattomissa metsissä, ja myrsky- ja/tai lumituhojen minimoimiseksi, puilla tulisi olla ympärillään niin paljon tilaa kuin mahdollista, niin varhaisesta vaiheesta lähtien kuin mahdollista. Muihin metsätaloudellisiin päämääriin yhdistettynä, kannattaisi käyttää sillä hetkellä taloudellisesti vähemmän tuottavia esiharvennuksia, ja vähemmän raskaita ensimmäisiä taloudellisia harvennuksia, sekä välttää riskialttiita myöhempiä harvennuksia. Tämä mahdollistaisi lyhyemmän kiertoajan (Wallentin & Skog 2013).

#### **4.1.3 Korjuuvauriot**

Korjuuvauriot tekevät puusta haavoittuvamman mm. altistamalla sitä sienitaudeille ja hyönteistuhoilille, ja tätä kautta laholle, mikä tekee puusta vähemmän kestävä. Vaikeasti harvennettavaan metsikköön syntyy yleensä helposti korjuuvaurioita ja siksi on tärkeää, että konekuski on ammattitaitoinen.

#### 4.1.4 Lannoitus

Laihon (1987) tutkimuksen mukaan lannoituksen vaikutus tuulituhoihin on erittäin merkitsevä siten, että jos lannoitus on tehty enintään kahdeksan vuotta ennen tuhon aiheuttavaa myrskyä, on sillä tuhoa edistävä vaikutus puustoon. Tulokset olivat tämän suuntaisia, riippumatta mm. siitä, oliko ala äskettäin harvennettu vai ei. Lannoituksen vaikutus näkyi jo, jos lannoituksesta oli enintään kaksi vuotta, kaksinkertaisena tuhona lannoittamattomiin verrattuna, ja kolminkertaisena tästä kahden vuoden kuluttua, tuhomäärän kääntyessä laskuun neljä vuotta sitten tapahtuneissa lannoituksissa. Kasvatusmänniköiden tuhomäärän lisäys lannoituksen jälkeen oli selvästi suurinta, kuuseen verrattuna jopa 3,5-kertaista. Tosin molemmissa suhteellinen tuhon lisäys oli suhteellisesti samaa luokkaa. Kaiken kaikkiaan lähivuosina, enintään neljä vuotta ennen hakkuuta, lannoitetujen ja harvennettujen metsiköiden tuhomäärä oli näiltä toimenpiteiltä säästettyihin metsiköihin verrattuna jopa kuusinkertainen. (Laiho 1987, 16.)

## 4.2 Topografia, maaperä, aluskasvillisuus, maantieteellinen sijainti sekä ilmasto- ja sääolosuhteet

Myös otsikossa mainituilla tekijöillä on suuri merkitys tuulituhojen määrässä ja laadussa. Vaikka niihin itseensä ei voikaan vaikuttaa, niin oikeilla hoitotoimenpiteillä voidaan esim. läntisten rinnemetsien tuulituhoherkkyyttä vähentää.

### 4.2.1 Topografia

Rinteillä ja korkeammilla kohteilla on yleisesti suurin tuulituhoriski. Laiho mainitsee, että maaston muodolla on suuri merkitys tuhojen yleisyydessä. Ratkaiseva tekijä oli suhteellinen korkeusasema, jossa tuulen suunnasta katsottuna poikkileikkausnotkoissa tuhot olivat pienimpiä, ja toiseksi pienimpiä tasamaalla. Tuhojen määrä tasamaahan nähden nousi kolminkertaiseksi, ja on pystypuustoon suhteutettuna tätäkin suurempaa mäkien laella. Takarinteilläkin tuhot olivat olleet tasamaata kaksi kertaa suuremmat, mutta arvioitiin, ettei täyttä katvetta muodostunut usein suuntaansa muuttavan ja laen takana pyörteisen tuulen vuoksi. (Laiho 1987, 14.)

Myös tuulenpuoleisella puustolla todettiin olevan suuri merkitys tuhomäärään, eli mitä tiheämpi ja kookkaampi puusto, sitä vähäisemmät tuhot. Äskettäin hakattuja aukkoja reunustavat metsät olivat erityisen alttiita tuhoille. (Laiho1987, 14.) Reunametsän vähentämiseksi tulisi välttää liian monien ja pienien aukkojen hakkaamista. Monet pienet aukot yhden suuren sijaan tuovat yllättävän paljon enemmän metsänreunaa.

Jos puusto on ollut luonnostaan ja pitempään harvaa tai se sijaitsee muutoinkin tuulisella paikalla, ovat puut kestävämpiä; Tuulisilla paikoilla sijaitsevat puut ovat yleensä lyhyitä läpimittaansa nähden sekä runkomuoto muutenkin mekaanista rasitusta kestävämpi, ja niiden juuristo on paremmin kiinnittynyt maaperään.

#### **4.2.2 Maaperä**

Hienojakoinen maa-aines, turvemaa ja kallioisuus altistavat tuulituhoilta, mm. koska juuristo kiinnittyy huonommin tällaiseen maaperään. Laihon mukaan kasvupaikalla on merkitsevä vaikutus tuhon yleisyyteen siten, että tuhot ovat yleisimpiä viljavimmilla mailla. Soistuneiden maiden kohdalla suurempi soistuneisuus merkitsi tutkimuksen perusteella pienempää tuhoa. Tosin paksuturpeisilla mailla tuhot olivat lähes yhtä yleisiä, kuin soistumattomilla mailla. Ojitusalueiden tuhojen Laiho mainitsee olevan yleisesti vähäisiä, mutta lisää, ettei soistuneisuus välttämättä merkitse, että sillä olisi tuulituhoja vähentävä vaikutus, johtuen muista tuhoasteeseen vaikuttavista tekijöistä. Tuhon yleisyyden ei todettu olevan tilastollisesti merkitsevästi riippuvainen maalajista, mutta tähän on todennäköisesti vaikuttanut mm. hienojakoisten maiden suojaisuus, viljavuus sekä puuston runsaus ja sen suurempi pituus sekä karkearakeisen maaperän sijoittuminen veden huuhtomille, melko yläville ja vain vähän viljaville maille. (Laiho 1987, 12 & 13.)

Eräässä vuonna 2004 julkaistussa Itävaltalaisranskalais-saksalaisessa tuulituhotutkimuksessa oli saatu melko vahvaa näyttöä happaman maaperän yhteydestä suurempaan tuulituhoriskiin. Tutkimusdata oli peräisin 969 alueelta Ranskasta, Etelä-Saksasta ja Sveitsistä. Myös havupuiden osuus mainittiin yhtenä merkittävänä tuulituhoriskin indikaattorina, ja koska havupuulajien maaperä on luonnostaan hapanta, niin yhteys voi johtua ainakin suuremmalti osalta siitä. Toisaalta happaman maaperän aluskasvillisuus-

kin on yleensä aika vähäistä (Mayera, Branga, Dobbertina, Hallenbarterb, Renaudc, Lo Waltherta & Zimmermanna, 2004).

#### **4.2.3 Aluskasvillisuus**

Aluskasvillisuus hidastaa tuulen etenemistä metsän kenttäkerroksessa, ja 40 % läpäisevyys on paras suoja tuulelta (Barry & Chorley 2010, 405.) Tasaikäismetsiköissä aluskasvillisuus on yleensä vähäistä, varsinkin männiköissä ja varttuneissa kuusikoissa.

#### **4.2.4 Maantieteellinen sijainti**

Myrskyn vuodenaikaisesta esiintymisestä, syntyvästä ja lähteestä sekä luonteesta riippuen jotkin alueet on suuremmassa tuulituhovaarassa kuin toiset. Esim. Pohjois-Suomessa tuulituhoja tapahtuu suhteessa eniten korkeilla paikoilla, tosin korkeille alueille sijoittuvat siellä yleensä kaikkein hoitamattomimmat ja valtapituudeltaan lyhyimmät metsiköt. Tällaisissa metsiköissä puuston lahoisuus saattaa edistää tuhoja, vaikka puiden lyhyys parantaa kestävyttä. (Yli-Kojola 2004, 65–66.)

Etelä-Suomessa tuulituhot aiheutuvat Pohjois-Suomea huomattavasti useammin myrskyistä, jolloin tuulituhot jakautuvat alueelle huomattavasti tasaisemmin Pohjois-Suomessa, ja keskittyvät myrskyalueille Etelä-Suomessa, aiheuttaen suurempia paikallisia tuhoja. Kaiken kaikkiaan tuulituhot ovat Etelä-Suomessa Pohjois-Suomea yleisempiä. (Yli-Kojola 2004, 66.)

#### **4.2.5 Ilmasto- ja sääolosuhteet**

Ilmasto-olot riippuvat suoraan maantieteellisestä sijainnista, mutta vaikka maantieteellinen sijainti ei muutu, ilmasto ei ole muuttumaton. Ilmastonmuutoksen myötä tapahtuu muutoksia puun kasvussa ja eri puulajien menestymismahdollisuuksissa, mutta ilmastomuutos vaikuttaa myös myrskyjen runsauteen ja voimakkuuteen.

Ilmaston lämmetessä lehtipuiden menestymismahdollisuudet todennäköisesti paranevat, mutta ainakin Etelä-Suomessa kuusi tulee todennäköisesti vähenemään lisääntyvän kui-

vuoden vuoksi. Koivu ja mänty sietävät kuusta paremmin kuivuutta (Viisanen & Tuomenvirta 2009, 6).

Kokonaisuudessaan ilmastonmuutoksella ennustetaan olevan puuston kasvua lisäävä vaikutus. Etelä-Suomessa sen on ennakoitu olevan 10–20 %, ja koko maassa 40 % suurempaa (Viisanen & Tuomenvirta 2009, 6).

Maan ollessa jäässä (routa), on puulla suurempi riski katketa kuin kaatua juuriston repeytyessä maasta. Tulevaisuudessa roudan määrä ja kesto tulevat vähenemään, ja muutokset ovat jo nyt nähtävissä. (Viisanen & Tuomenvirta 2009, 6) Asiasta mainitsee myös metsänhoitotieteen professori Heli Peltola Itä-Suomen yliopistosta. (mmm.fi 2010a) Myös maan märkyys, erityisesti pintaroudan jälkeinen, satava lumi ja puihin jäänyt lumikuorma lisäävät alttiutta tuhoille. Syksyisin yleensä vallitsee tällaiset olosuhteet, ja talvella on suuret lumikuormat. Keväisin riskiä vähentävät puiden lumettomuus ja maan routaisuus, vaikka tuulet voivat tällöinkin olla kovia, tosin tilanne tulee todennäköisesti muuttumaan ilmaston lämpenemisen myötä. Tällöin vahingoittuvat puut yleensä katkeavat. Erityisen runsas käpysatokin voi lisätä tuhoja. (Laiho 1987, 4 & 6.)

Ilmastonmuutos tuo mukanaan uudet tuhohyönteislajit. Nykyiset tuhohyönteiset esim. kirjanpainajat lisääntyvät tehokkaammin, saaden yksittäisissä puissa enemmän tuhoa aikaan, mikä taas altistaa tuulituhoille (Viisanen & Tuomenvirta 2009, 6).

Myös hoitotoimenpiteiden merkitys kasvaa. Aiheesta on haastateltu silloista yliassistentti maa- ja metsätaloustieteiden tohtoria ja nykyistä metsänhoitotieteen professori Heli Peltolaa Itä-Suomen yliopistosta. Mmm.fi-sivuilla Peltola kertoo, että nykyisiä metsänhoitosuosituksia noudattamalla voidaan hyvin varautua tuuli- ja lumituhoihin. Tämä tarkoittaa muun muassa huolellista taimikonhoitoa ja riittäviä harvennuksia, joita tulisi tehdä nykyistä tiheämmin, tosin tämän takia kiertoajat lyhenevät. (mmm.fi 2010a)

Erityisesti tulevaisuudessa tulisi kasvupaikoille valita niille luontaisesti parhaiten soveltuvat puulajit, esim. kuuselle tarpeeksi kosteat kohteet. Puulajien radikaalien vaihdoksen sijaan Peltola kehottaa malttia. Jos avohakkuaukot on sijoitettu oikein maastoon, ja jos ne on keskitetty yhdeksi isoksi kuin moneksi pieneksi aukoksi, eivät ne Peltolan

mielestä ole riski tuhojen kannalta. Tulisi myös välttää avohakkuita vastaharvennetun metsikön reunassa. (mmm.fi 2010a)

Peltolan mukaan Suomessa ei ole odotettavissa kovien tuulten lisääntymistä. Tuulituho tuo kuuselle haittaa mm. siksi, koska sillä on pinnallinen juuristo. Nuorille männiköille ja koivikoille suurempi uhka ovat lumituhot, tosin vuoden 2050 jälkeen oletetaan, että talvisateista suuri osa tulee vetenä. (mmm.fi 2010a)

#### **4.3 Ympäröivä metsä ja muu ympäristö (avoimuus, topografia ym. tekijät)**

Edellä on selvinnyt, mitä merkitystä metsän sijainnilla ja rakenteella on tuulituhoalttiuteen. Myös muulla lähiympäristöllä on vaikutus tuhoihin. Tiheä ja hyväkuntoinen ympäröivä metsä vähentää luonnollisesti alttiutta tuulituhoille sen tarjoaman suojan takia, ja jos metsä on säästynyt aiemmilta tuhoilta, se todennäköisesti on muutenkin kestävä. Jos tämä metsä sitten harvennetaan, tilanne muuttuu, ja jos se on ollut erityisen hyvin suojaa antava, ei sisempi metsä ole kehittynyt niin kestäväksi, kuin se ilman suojaa todennäköisesti olisi kehittynyt.

Jos ympäröivän metsän harvennuksesta tai merkittävästi puuta kaataneesta voimakkaasta tuulesta on vain vähän aikaa, on jäljelle jäänyt puusto aina alttiimpi seuraaville tuhoille muutaman vuoden ajan, tuhon määrästä ja laadusta riippuen.

#### **4.4 Puulaji**

Useat tutkimukset puoltavat sitä, että kuusi on kolmesta pääpuulajeistamme herkin tuulituhoille, tämän jälkeen mänty ja viimeisenä koivu. Tähän ovat päätyneet mm. Laiho, Yli-Kojola ja opinnäytetyöntekijä Ville Kilpeläinen omissa tutkimuksissaan, vaikka männylle olikin niissä sattunut määrällisesti, Laihon tutkimuksessa lisäksi suhteellisesti eniten, tuhoja. Koivua oli yleensä kaatunut niin vähän, ettei niiden pohjalta ollut mahdollista arvioida kaatumiseen vaikuttavia tekijöitä. (Yli-Kojola 2004, 59; Laiho 1987 10–12; Kilpeläinen 2011.)

Myös Maa- ja metsätalousministeriön päätösseminaaria varten tehdyssä esityksessä mainitaan, että kuusi on koivuun ja mäntyyn nähden yleensä tuulituhoilta alttiimpi, kaatuen näin alhaisemmissa tuulennopeuksissa, ja että varsinkin sille roudattomuus on riski. Esityksessä olevassa puiden osuuksia koko suomessa nyt ja vuosina 2070–2099 esittävässä kartta-kuvassa näkyy selvästi kuinka männyn ja koivun osuus tulee määrällisesti kasvamaan ja kuusen taas vähenemään. (mmm.fi 2010a)

Laihon tutkimuksessa, jossa tuhoutumisaste pohjapinta-alasta oli männyllä 2,2 %, kuusella 1,5 ja koivulla sekä muulla lehtipuulla 0,3 %, oli Aarno-myrskyn tapauksessa koivun kestävyys mäntyyn nähden kahdeksankertainen, ja kuusen mäntyyn nähden noin puolitoistakertainen. (Laiho 1987, 10–12.)

Puulajittaiseen tuulituhoihiin vaikuttavat merkittävästi yksittäisen puun ominaisuudet, kuten esim. pituus ja läpimitta, tosin Laihon tutkimuksessa ei männyn läpimitalla näytännyt olevan väliä. Kuusen kohdalla taas läpimitan myötä kasvava tuulituhokerkkyys oli erittäin jyrkkää, herkkyyden ollessa isoilla puilla kuusinkertainen verrattuna pinotavarakokoisiin. (Laiho, O 1987, 10–12.)

Yli-Kojolan kirjoittamassa vuoden 2005 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonannossa *Metsikkö- ja puutuhojen ennustemallit* mainitaan, että yli 20 metrin valtapituudessa männiköiden tuulituhoriski on kuusikoita suurempaa, mutta lyhemmissä puustoissa tilanne on päinvastainen. Lehtipuuvaltaisissa metsissä tuulituhot jäävät vähäisiksi, mitä edesauttaa vielä se, että yleensä myrskyjen aikaan koivut ovat lehdettömiä. Mitä pienempi pituus/läpimitta-suhde (h/d) puulla on, sitä kestävämpi se on tuulta vastaan, niin juurakon maasta irtautumisen kuin rungon katkeamisenkin osalta. (Yli-Kojola, H. 2005, 20.)

Vaikka lahoamisen myötä vanhojen kuusimetsien tuulituhokerkkyys Kojolan mukaan kasvaa, on tilanne yksittäisellä kuusella päinvastainen. Vahinko jää yleensä vain latvan tai rungon katkeamiseen koko puun kaatumisen sijasta. Tämä johtuu puun lahoisuudesta ja rappeutumisesta. (Yli-Kojola, H. 2004, 66.)

## 5 TUULI- JA LUMIUHOJEN ENNUSTEMALLIT

Tuuli- ja lumituhojen ennustamiseen on viimeisten vajaan kolmenkymmenen vuoden aikana kehitelty erilaisia menetelmiä, mutta niiden puutteena on ollut ainakin soveltumattomuus jatkuvan kasvatuksen metsille. Jaksollisen kasvatuksen metsienkään tuulituhomallit eivät ole aivan aukottomia, mm. koska metsien tuuli- ja lumituhoriskiinkin vaikuttaa lukuisia eri tekijöitä (Gardiner, Byrne, Hale, Kamimura, Mitchell, Peltola & Ruel 2007).

### 5.1 Kotimaiset mallit

VMI8:n aineiston pohjalta metsiköiden ja puiden tuulituhoriskiä ennustavia malleja ovat laatineet ainakin Yli-Kojola sekä (2002) ja Jalkanen ja Mattila (2000). Peltolan ym. (1999) tutkimukseen ovat kuuluneet yksittäisen puun kaatumiseen ja katkeamiseen tarvittava tuulen voima. Kolme vuotta kestäneessä yhteiseurooppalaisessa, ja ilmastonmuutoksen sekä muuttuvien metsänkäsittelytapojen myötä mahdollisesti lisääntyvien tuhojen takia alkunsa saaneessa STRMS- projektissa kehitettiin malleja, joiden avulla voitaisiin paremmin varautua tuhoihin. (Kellomäki ja Peltola 1998). Solantien (1998) tutkimuksissa on käsitelty merkittäviä vahinkoja aiheuttavien tuulien esiintymistajuuutta (Ihalainen & Ahola 2003, 387).

Tutkimusartikkeli ”*A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests*”, eli *Katsaus metsien tuulituhoriskien mekaaniseen mallintamiseen*, on laaja katsaus artikkelin tekohetkeä ennen ja sen aikana tehdyistä tuulituhoriski- malleista. Siinä käsitellään mm. riskien arviointia, mallien rakennetta, soveltuvuutta, käyttökelpoisuutta, laillistamista ja rajoitteita. Tarkastelun kohteena ovat erityisesti mekaanis-empiiriset GALEs ja HWIND- mallit, jotka on kehitetty laskemaan tasaikäismetsien riskiä, ja ovat tutkijapiireissä laajimmalle levinneet. Molemmat malleista ovat integroitu erilaisilla metodeilla ennustamaan paikallista tuuli-ilmastoa lukuisten eri maiden tuulituhon todennäköisyyden laskemiseksi. Artikkelissa käsitellään monin eri tavoin käsiteltyjen metsien ennustemalleja. Yksi merkittävä tekijä ennusteissa on latvuksen yläpuolinen ”kriittinen tuulennopeus” (CWS), jonka ylittyessä tuuli katkaisee tai kaataa puita met-



sässä. Toinen tekijä on paikallinen tuuli-ilmasto, jota tarvitaan, jotta voidaan laskea kriittisen tuulennopeuden mahdollisuus kyseisellä paikalla. Näiden tekijöiden huomioon otto vaihtelee malleittain, mutta kaikki mallit käyttävät tätä lähestymistapaa. (Gardiner ym. 2007.)

GALES laskee rungon kaatumiseen tai katkeamiseen vaadittavan kriittisen tuulennopeuden puun korkeuden, läpimitan, rivivälin (puiden etäisyys toisistaan), maaperätyypin, maan muokkauksen, kuivatuksen (ojat ym.) ja puulajien avulla. (Gardiner ym. 2007.)

Peltolan kehittämä HWIND on tehty varsinkin kuuselle, männylle ja koivulle. Se on erityisesti kehitetty CWS:n laskemiseen juuri harvennettujen metsien reunassa, ja se soveltuu myös Lounais-Suomessa sijaitsevien pienten yksittäisten metsiköiden puiden tuulituhojen ennustamiseen. (Gardiner ym. 2007.)

FOREOLE:en yritettiin sisällyttää vaihtuvuustekijöitä, jotka ennustavat tuulikuormaa puun lehtien puussa jakautumisen perusteella, mutta se on todettu epätarkaksi yksittäisillä puilla. Ratkaisuna voisi olla kilpailu-indikaattoreiden käyttäminen, ja niiden hyödyistä on jo saatu näyttöä. (Gardiner ym. 2007.)

Yhä tarkempaan analyysiin kykenevät mallit vaativat enemmän tietoa, mutta liian monimutkaisissa malleissa ongelmana voi olla se, että niitä osaavat käyttää vain asiantuntijat. Eri tutkimusryhmien kehittämät erilliset mekaaniset mallit luovat synergiaa ja edistävät eri tavoitteista lähtevien mallien kehittämistä. (Gardiner ym. 2007.)

Eräässä raportissa, jonka yhtenä tekijänä on Heli Peltola, käsitellään ns. solumallinnusta tai automaatiota, jonka avulla on mahdollista suunnitella paremmin metsän hoitotoimenpiteitä erirakenteisille metsille ottamalla huomioon ennustetun tuulituhoriskin. Solumallinnusta ei tutkijoiden mukaan ole ennen juuri tähän käyttötarkoitukseen käytetty (Hongcheng, Pukkala, Peltola & Kellomäki 2010).

Edellä mainitun tutkimuksen yksi tekijöistä Zeng Hongcheng, on väitellyt vuonna 2006 tuulituhojen riskeistä metsien avohakkuissa, ja siinä paikkatietoon ja mallinnukseen perustuvasta analyysistä. Analyysissa käytettiin karttasovellus ArcGis:ä yhdistämään

mallit, jotka simuloivat tuulenliikkeitä (WAsP), tuulituhoja (HWIND) ja metsän kasvua (SIMA). Työn tarkoituksena oli siis selvittää avohakkuiden vaikutusta tuulen lisääntymiseen metsäaluetasolla paikallisesti ja/tai keskimäärin, ja ilmenevätkö vaikutukset reu-nametsissä heti hakkuiden jälkeen ja/tai pidemmällä aikavälillä. Tutkimuksesta toivottiin olevan hyötyä metsänhoidossa ja suunnittelussa. (Hongcheng 2006.)

## 5.2 Ulkomaiset mallit

Skotlantilaiskanadalaisessa hankkeessa, ja sen pohjalta tehdyssä artikkelissa *The development of a wind risk model for irregular stands* käsitellään erirakenteisten metsien tuulituhoriskien ennustamiseen kehitettyjä malleja, ja sen kehittämisen pontena on ollut halu ymmärtää tuulen vaikutusta yksittäisillä puilla eri kokoluokissa. Kokeet on tehty sitkankuusella, ja tutkimusmetsiä oli kolme. Saadut tulokset ovat hyvin rohkaisevia. Laajasti metsän mallinnuksessa käytössä olevat ns. kilpailuindeksit, tarjoavat tutkimuksen mukaan potentiaalisen hyödylliset työkalut tuulienergian jakamiseen yksittäisten ja erikokoisten puiden läpi metsikössä. Tämä taas mahdollistaa tuhoriskin laskemisen läpi metsikön, ja rakentamaan riskimallin monenlaisille metsikkörakenteille. Artikkelin mukaan meneillään oli tuolloin vielä lisää mittauksia, jotka mahdollistavat paremman mallintamisen (Gardiner, Hale, Wellpott & Nicoll).

Mallinnussovelluksia on useita muitakin, lukuisissa eri maissa kehiteltyinä ja käytettyinä. Vuonna 2009 pidetyssä tuulen vaikutusta puihin käsittelevässä kansainvälisessä konferenssissa esitelmöitiin lukuisista alan tutkimuksista, ja eri mallinnuksilla ja simulaatioilla oli siellä merkittävä rooli (Mayer & Schindler 2009).

## 5.3 Pienoismalli- ynnä muut simulaatiot

Varsinkin tuulitunnelilla on tehty erirakenteisten metsien tuulituhokestävyyttä ta-saikäismetsiin verrattuna mittaavia kokeita, joista alla on pari esimerkkiä. Päätuloksena on pienten puiden kestävyys suuriin nähden.

### 5.3.1 Eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden kestävyys: tuulitunneli-tutkimus

Otsikon nimisen tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten latvuksen rakenne vaikuttaa metsän yläpuolella olevien turbulenttivirtausten muotoon. Hypoteesina oli se, että mitä epäsäännöllisemmän muotoinen latvusrakenne on, sen vähemmän voimakkaampia puuskat ovat, koska latvuksen huipun korkeudessa olevan tuulen nopeuden muutokset ovat vähemmän jyrkkiä. Mittaukset tuulen nopeuksista ja turbulensseista tehtiin mallimetsien sisällä ja yläpuolella, ja tuulikuormituksia malli-puilla neljällä erilaisella käsittelymenetelmällä, joita olivat tasaikäiskasvatus, poimintahakkuu, suojuspuu/pienaukkohakkuu ja kaistalehakkuu. Tulokset eivät näyttäneet merkittävää eroa tuulennopeuksissa tai kestävyudessa eri käsittelytapojen välillä, kuin ehkä mahdollisesti suojuspuuryhmissä. Pienoispuut edustivat sitkankuusaa (Gardiner, Marshall, Achim, Belcher & Wood 2004).

Taivutusmomenttia mittaavista kokeista saatiin näyttöä siitä, ettei metsän käsittelytavalla ole väliä pisimpien puiden tuulenkestävyydessä, vaan ainoastaan lyhyemmät puut päälatvuksen alla hyötyvät saamastaan suojasta. Tulos on vastakkainen oletetulle käsitykselle siitä, että lyhyimmille puille puuskien vaikutukset olisivat suuremmat kuin pisimmille puille. (Gardiner ym. 2004.)

Poimintahakkuumetsät takaavat paremman suojan lyhyimmille kuin pisimmille puille, ja joka tapauksessa, normaalien metsänhoidon toimenpiteiden aikana, nämä pisimmät puut tulevat lopulta poistetuiksi. Se, miten pidempien puiden poisto vaikuttaa lyhyempiin, olisi varsin hyödyllinen tieto, mutta jo nyt on selvää, että poiston seurauksena, niiden tuulituhoriski nousee suuremmaksi. (Gardiner ym. 2004.)

Suojuspuu/pienaukkohakkuu- metsät näyttävät tarjoavan parhaat mahdollisuudet metsän kestävyuden parantamiseen. Jo melko lyhyissä puissa vaikuttava taivutusmomentti oli hieman korkeampi kuin puissa, jotka ovat sopeutuneet kasvamaan tasaikäismetsiköissä samanpituisten puiden kanssa, ja niitä oli merkittävästi vähemmän kuin noissa tasaikäismetsissä (50 % harvennettu), pitkien puiden kasvaessa samassa tiheydessä kuin lyhyemmät puut suojuspuu/pienaukkohakkuu metsissä. Lyhyiden puiden olemassaolo näyttää vähentävän pidempien puiden kuormitusta, ehkä johtuen niiden lisääntyneestä kosteudesta ja vähäisestä huojumisesta. Uhkana on pidempien puiden poisto, mutta vai-

kutukset tuulituhojen riskiin saattaa riippua toimenpiteen ajoituksesta. Mitä suurempi kokoero puiden välillä on, sitä suurempi vaikutus hakkuulla on tuhoriskiin. Tämä johtuu siitä, että lyhyemmillä, nuoremmilla, ja täten joustavammilla puilla tiedetään olevan kapasiteettia hälventää tuulen voimakkuutta korkeilla alueilla. (Gardiner ym. 2004.)

Jos keskituulen nopeuden voimakkuus on kriittinen tekijä, tulee ääri- ja keskituulen nopeuksien taivutusmomenttien suhde äärimmäisen tärkeäksi jolloin puut, joilla on pieni suhdeluku, ovat kestävämpiä. Gardiner ym. (1997) esittävät, että harvemmassa asennossa kasvavilla puilla on matalampi taivutusmomenttisuhte, mutta he perustelevat tätä sillä, että harvemmassa asennossa kasvavat puut kaatuvat helpommin tuulen vaikutuksesta. (Gardiner ym. 2004.)

### 5.3.2 Ovatko eri-ikäisrakenteiset metsät tuulenkestävämpiä?

Yllä olevan otsikon nimisessä artikkelissa arvioitiin mm. tuulitunnelitestejä, joista saaduista tuloksista tutkimusartikkelin kirjoittaja onkin päätellyt, ettei tuuliprofiililla kahden erilaisen puun latvuksen sisällä tai yläpuolella ole eroavaisuuksia. Myöskään eroja juuriston syvyydessä tasaikäis- ja erirakenteisen metsän välillä ei havaittu niissä muutamassa kokeessa, joita aiheen tiimoilta on tehty, vaikka muutokset juuriston rakenteessa olisivatkin olleet samalla lailla odotettuja kuin suurempien tuulikuormitustenkin. Nämä kokeet tehtiin metsäkuusella. Kirjoittaja tulee siihen johtopäätökseen, että eri-ikäisrakenteiset metsät ovat rakenteeltaan vakaampia, mutta vallitseva tuuli-ilmast ja paikallinen maasto tuovat aina oman osuutensa tuulituhoriskiin. (Mason 2002.)

## 6 VESSARI JA HONKAMÄKI

Vessari ja Honkamäki ovat samoihin aikoihin perustettuja tutkimusmetsiä, jotka sijaitsevat Länsi-Suomessa, Pirkanmaalla. Vessari Ruovedellä ja Honkamäki Mänttä-Vilppulassa. Maantieteellisen sijainnin lisäksi eroa tutkimuskenttien välillä on ainakin maalajissa, puuston ominaisuuksissa ja koeruutujen koossa.

### 6.1 Historiaa

Kummallakin koealalla tehtiin erilaisia jatkuvan kasvatuksen hakkuita viimeksi vuonna 2009, minkä jälkeen on niille ilmestynyt eri vuosilta ja useiden myrskyjen aiheuttamina runsaasti tuulituhoja. Näitä puita ei ole korjattu eikä siirrelty. Ennen vuoden 2009 hakkuita kaatuneet puut on viety pois, poikkeuksena kontrolli- ja määrittämishakkuukoealat (Hakkuusuunnitelma 2009).

Koekenttien alku on 1940-luvun loppupuolelta, jolloin ne perustettiin luontaisen uudistamisen tutkimiseksi kuusen suojuspuuhakkuuta käyttäen. 1950–1960-lukujen taitteessa hakattiin suojuspuut, minkä jälkeen on tehty taimikonhoitokokeita prof. Sarvaksen johdolla. 1980-luvun alkupuolella mitattiin tulokset, jotka julkaistiin 1990-luvun alussa (Hakkuusuunnitelma 2009).

Näihin aikoihin (1980-luvun loppupuolella) tehtiin myös vertailukokeet erilaisten metsänkäsittelyjen välillä. Pääpaino on ollut erirakenteiskasvatuksen tutkimuksessa, koska varsinkin tuolloin ko. kasvatustapa oli hyvin vähän tutkittu. Tarkoituksena on ollut ja on saada tietoa siitä, mikä on jatkuvan kasvatuksen tuottavuus ja kasvu jaksolliseen kasvatukseen verrattuna. Taustalla on Suomen laeista ja kielteisestä asenneilmastosta johtuva jatkuvan kasvatuksen harjoittamisen vaikeus maassamme.

Yksi ruutu käsittää yhden metsänkäsittelymenetelmän, ja ruudun keskellä on 0,03 ha keskiympyrä, joista on tehty seurantamittauksia. Näiden ympyräkoalojen yli 1,3 m pitkät puut on kartoitettu ja mitattu kolmen vuoden välein. Vessarin koeruutujen koko

on 50x50 m ja Honkamäen 40x40 m. Kaikkiaan koeruutuja on 107. Tutkittavia menetelmiä ovat olleet:

1. Alaharvennus (Ah) siten, että runkolukujen ja puulajisuhteiden vaihteluväli on suurta.
2. Erirakenteiskasvatus (Jk), jossa on samalla tavoin vaihdeltu runkolukuja ja puulajisuhteita
3. Määrämittahakkuu (Mm), jonka rajana käytettiin silloista kuitupuun (d 1,3 9 cm, Vessari) ja pientukin (16 cm, Honkamäki) minimikokoa.
4. Käsitlemätön kontrolli (K) (Hakkuusuunnitelma 2009).

Hakkuuajankohdat ovat 1980-luvun loppu (ensiharvennus), vuosi 1994, 2002, 2004, 2006 ja jo mainittu vuosi 2009 (Hakkuusuunnitelma 2009).

## 6.2 Vuoden 2009 hakkuu

Taulukossa 2 on vuonna 2009 tehtyjen Vessarin ja taulukossa 3 Honkamäen hakkuiden hakkuutoteutumat käsittelytavoittain.

TAULUKKO 2. Hakkuiden toteutumat 2009, Vessarin koekenttä

	Ruutuja	Pinta- ala	Poistuma		Poistuman vaihteluväli	Yhteensä	Tukkia
Hakkuu	kpl	ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Jk	10	2,25	15	133	9- 25	300	211
Yh	2	0,45	23	218	16- 30	98	74
Sjh	4	0,9	20	184	17- 22	165	124
SjhY	3	0,675	25	237	21- 31	160	115
Välj	5	1,125	9	87	6- 17	98	74
Yhteensä	24	5,4	19	172	14- 25	928	597

Honkamäen pienemmät hakkuumäärät johtuvat mm. sen lukumäärältään ja kooltaan pienemmistä koeruuduista. Tukkia on siellä kokonaispoistumasta suhteellisesti enemmän kuin Vessarissa.

TAULUKKO 3. Hakkuiden toteutumat 2009, Honkamäen koekenttä

	Ruutuja	Pinta-ala	Poistuma		Poistuman vaihte- luväli	Yhteensä	Tukkia
Hakkuu	kpl	ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Jk	11	1,54	12	105	8-15	161	113
Yh	2	0,28	7	65	7-8	18	14
Sjh	4	0,56	16	151	14-18	84	64
SjhY	5	0,7	18	176	16-18	123	99
Yhteensä	22	3,08	14	123	11-17	378	290

- Sjh on kuusen normaali suojuspuuhakkuu, jossa jätetään 200–250 kuusta/ha.
- SjhY on yläharvennusluonteinen suojuspuuhakkuu, jossa jätetään yhteensä 200–250 kpl/ha keskikokoisia ja pieniä kuusia, koivuja ja mäntyjä.
- Ruudut, joita ei hakata ovat kontrolliruudut, enimmät määrämittahakkuut, osa aiemmin hakatuista erirakenteis (Jk)- ja alaharvennusruuduista (Ah) ja kokeiden vaippa-alueella olevat lisäruudut.

Ohjeistuksessa mainittiin vielä puuston valtapituuden olevan 24 m ja valtaläpimitan 28 cm, mikä ei ruutujen lisäyksen vuoksi ole aivan tuo sama. Koekenttien yhteiskertymä on 1305,5 m<sup>3</sup>, josta tukin osuus on 887,21 m<sup>3</sup>. Hakkuukertymästä kuusen osuudeksi arvioitiin 60 %, sekä molempien, männyn ja koivun 20 % (Hakkuusuunnitelma 2009).

Alla on käsittelytapojen lyhenteiden selitykset. Ne ovat myös uusimmissa Vessarin ja Honkamäen koeruutujen kartoissa (Liite 1 ja 2), joissa on lisäksi pohjapinta-ala, runko-luku ja kasvatiedot eri vuosilta.

- Ah – Alaharvennettu tasarakenteinen puusto
- Välj – Alaharvennetun puuston väljennyshakkuu, jätetään 400 kpl/ha
- Sjh – Alaharvennetun puuston normaali suojuspuuhakkuu, jätetään 200 kpl/ha
- Avo – Avohakkuu s. 2009, kolme ruutua (40, 41, 46) muokattiin ja viljeltiin ke-väällä 2010, muut jätettiin uudistumaan luontaisesti ja muokkaamatta
- Yh – Alaharvennetun puuston yläharvennus, jätetään 400 kpl/ha
- SjhY – Alaharvennetun puuston yläharvennusluonteinen suojuspuuhakkuu, jätetään 200 kpl/ha

- Jk – Erirakenteinen puusto, käsitellään jatkuvan kasvatuksen hakkuulla. Vuonna 2009 pyrittiin erityisen voimakkaisiin, uudistumista edistäviin hakkuisiin (pohjapinta-ala alle 10 m<sup>2</sup>/ha)
- Mm – Määrämittahakkuulla ( $d_{1,3} > 16$  cm) vuonna 1986 ja uudelleen 2004 käsitelty puusto, erirakenteinen
- K – Käsittelemätön kontrolli, erirakenteinen. Puusto on näillä erittäin runsas ja nettokasvu alkamassa taantua
- Vihreä ruutu – Koivikko

### 6.3 Topografia, maa-aines ja puusto

Honkamäki on tasaisen loivasti lounaaseen viettävä, kivetön moreeni, hieman Vessaria (OMT-) karumpi (MT+) ja puusto on tanakampaa kuin Vessarissa. Vessari on etenkin koekentän alkupäässä selvästi reunoille laskeva ja etenkin yläviltä osiltaan melko kivinen hiekkamoreeni, reunaosissa on hieman enemmän hienoja aineksia. (Laiho sähköposti 12.1.2014)



## 7 TUTKIMUSMENETELMÄ

Työn aineistona toimii vuoden 2013 loka-marraskuussa tehdyt maastomittaukset Vessarista ja Honkamäen tutkimusmetsissä. Mittauksissa merkittiin kaatuneen, katkenneen tai voimakkaasti kallistuneen puun puulaji, sekä mitattiin rinnankorkeusläpimitta, kaatumissuunta ja sijainti. Tärkeänä tietopohjana ja apuna mittauksissa oli opinnäytetyöaihetta ehdottaneelta Olavi Laiholta saadut kartat (Liite 1 ja 2), joissa on myös eri käsittelytapojen lyhenteiden selitykset.

Mitattavaksi tuli yhteensä 79 koealaa, 47 Vessarista ja 32 Honkamäeltä. Mittauksen ulkopuolelle jätettiin Vessarista hylätty ruutu 54 ja Honkamäeltä reserviruudut 137 – 150.

Maastossa määritettäviä tunnuksia jokaiselta tuuli- ja/ tai lumituhoja kärsineeltä koealalta olivat kaatuneen, katkenneen tai voimakkaasti kallistuneen puun puulaji, rinnankorkeusläpimitta, kaatumissuunta ja sijainti. Ainoastaan vuoden 2010 aikana tai sen jälkeen tuhoutuneet puut otettiin mukaan mittauksiin. Katkenneista puista merkittiin katkeamiskohta (ylin kolmannes, keskikolmannes ja alin kolmannes). Ruudun muotoiselle pohjalle, yksi paperi kutakin ruutua kohti, sai selkeästi merkittyä mittaustiedot. Myös keskiympyrä oli merkitty (ympyrän säde 9,8 m). Ruuduilta, joissa pystypuita oli suhteellisen vähän, laskettiin maastossa kaikki pystypuut, ja joka ruudulta laskettiin keskuskoealan pystypuut.

Ensimmäisenä mittauspäivänä tuli selväksi, että tuulituhopuita on joillain aloilla niin paljon, ettei niiden jokaisen tarkka mittaaminen ja paikantaminen onnistu kohtuullisen ajan sisällä. Siksi yhdessä Olavi Laihon ja metsänhoidon emeritusprofessori Erkki Lähteen kanssa päätettiin tehdä mittaus ”etänä” eli kävelemällä ruutu ympäri ulkorajoja pitkin ja osin silmämääräisesti arvioimalla ja osin mittaamalla puista läpimitat ja piirtämällä kaatumissuunta lomakkeelle. Tuhon ajankohtaan ei voitu kiinnittää juurikaan huomiota. Jos vihreitä neulasia ei näkynyt, merkittiin tuhovuodeksi pääsääntöisesti 2010. Jos tuhoutuneita puita ei ollut runsaasti, otettiin siitä edustava näyte, useimmiten puolet, mutta joissakin tapauksissa pienempikin. Mitattavat puut pyrittiin valitsemaan koko koeruudulta siten, että niiden kokojakauma olisi samaa luokkaa mittaamatta jätet-

tävien puiden kanssa, jotta otos olisi edustava. Käytännössä otosmittauksia tehtiin yhteensä vain kahdella ruudulla, ruuduilla 118 (Sjh) ja 131 (Ah). Molemmissa näyte oli puolet ruudun koko tuhopuumäärästä. Nämä puut kerrottiin kahdella, lukuun ottamatta kolmen aarin keskuskoealan puita, koska keskuskoealan tuhopuut mitattiin aina tarkkaan ja yksittäin.

Ennen vuoden 2009 hakkuita oli koekentille hakattu 4-5 m leveät ruudustojen pituussuuntaan menevät palstatiet, ja 2009 hakattiin vielä lisäpalstatiet poikittain ruutujen väliin, jolloin ajourat ympäröivät kokonaan kaikki ruudut. Myös hakkaamattomien palstojen ympärille tehtiin ajourat. Tämä auttoi mittaamisessa.

17.11.2013 myös Vessarin ja Honkamäen tutkimusmetsissä riehunut Eino-myrsky, muutti mittausohjelmaa siten, että kun ennen kyseistä myrskyä Vessari oli mitattu kokonaan ja Honkamäki puoliksi, niin päätettiin, että näin ainutlaatuisen sattuman eteen tullessa kannattaisi katsoa, mitä uusi myrsky oli saanut aikaan. Niinpä käytiin Vessari kokonaan ja Honkamäestä puolet uudestaan läpi. Se kannatti, sillä Einon kaatamia puita löytyi yhteensä 35 kpl.

Mittaustulokset siirrettiin maastolomakkeelta Exceliin, jossa tietoa lajiteltiin, luokiteltiin, ja monin eri tavoin analysoitiin. Tässä käytettiin muun muassa Excelin funktioita, analyysityökaluja ja Pivottia. Excelissä lajittelu tehtiin ensin kaikille siihen merkityille muuttujille erikseen. Näitä olivat mm. koeala, sijaintikoordinaatit, etäisyys keskiympyrästä (m), puulaji, puun läpimitta, puun pituus, kaatumissuunta, puun katkeamiskohta, tuhoutumisajankohta, käsittelytapa, ympäröivän puuston avoimuus, rungon tilavuus, tuulituhopuun pohjapinta-ala, yksittäinen ruutu ja koko ruutu, tuhopuun prosenttiosuus ruudun koko puumäärästä, pystypuiden määrä koko koeruudulla ja keskiympyrässä puulajeittain.

Lajittelujen perusteella tehtiin runsaasti luokitteluja ja niistä taulukoita sekä diagrammeja. Näitä olivat mm:

- Läpimittajakauma puulajeittain
- Tuulituhopuiden määrät puulajeittain, ja tuhoutumistavoittain
- Käsittelytavat puulajeittain, puiden määrä
- Käsittelytavan suhde läpimittaan (mm.)

- Läpimittajakauma tuhoutumistavoittain (puuta/mm)
- Käsittelytavan suhde tuhoutumistapaan
- Tuhopuun pohjapinta-alan osuus alkuperäisestä puuston pohjapinta-alasta, kaikki ruudut (Kuvio 2)

Kaikista taulukoista ja diagrammeista tehtiin myös prosenttiosuudet näyttävät taulukot ja diagrammit, jotka näyttivät esim. tietyn läpimittaluokan puiden määrän prosenttiosuuden kaikkien läpimittaluokkien puumäärästä. Tämä oli välttämätöntä, jotta todelliset suuruusluokat saataisiin selvemmin näkyviin esitettävään muotoon, tulokset olisivat helpommin tulkittavissa ja suhteutettuna

Lajittelut, luokittelut, taulukot ja diagrammit tehtiin Vessarille ja Honkamäelle yhdessä ja erikseen. Vessarin ja Honkamäen taulukoita ja diagrammeja vertailtiin keskenään mm. laskemalla näiden välisiä prosenttiosuuksia. Näin nähtiin esim. se, oliko Vessarissa tuhoutunut suhteellisesti enemmän suuriläpimittaisia puita kuin Honkamäellä. Kuitenkaan Vessarin ja Honkamäen välisiä vertailuja ei opinnäytetyöhön juurikaan tullut, koska niiden ei nähty tuovan lisäarvoa työhön.

Analyysityökaluilla saatiin pääasiassa tunnuslukuja edellä mainituista muuttujista puulajeittain. Tunnusluvuissa näkyi mm. keskiarvo, keskivirhe, mediaani, minimi, maksimi ja luotettavuus. Tunnuslukujen hyödyntäminen jäi kuitenkin vähäiseksi

Pivotilla lajiteltiin ja luokiteltiin aikaisempien vuosien mittaustulosten puita läpimittaluokittain ja kuntoluokittain eri vuosina. Myös muita luokitteluja tehtiin, ja näistä muodostettiin taulukoita ja diagrammeja.

Kaiken kaikkiaan vain murto-osaa tehdyistä lajitteluista, taulukoista ja diagrammeista tuli hyödynnettyä, koska vastauksia tuulituhoherkkyyteen vaikuttavista tekijöistä saatiin vähemmälläkin tai toisella tavalla. Pituuteen ja pituus/läpimitta-suhteeseen liittyviä taulukoita ja diagrammeja ei hyödynnetty lainkaan, koska pituudet, joita ei nyt syksyllä 2013 oltu maastossa mitattu, perustuivat aikaisempina vuosina (2002 ja 2005) tehtyihin mittauksiin. Ko. vuosien pituus ja läpimittatietojen pohjalta laskettiin pituudet syksyllä 2013 mitatuille tuulituhopuille. Menetelmä oli monista syistä huono ja todellisuutta vääristävä varsinkin männyllä ja lehtipuilla, joita oli aineistossa vain vähän.

Oikeiden johtopäätöksien tekemiseksi tuli tutustua laajasti eri metsänkäsittelytapoihin, metsien tuuli- ja lumituhojen sekä niiden ennustamista käsitteleviin tutkimus- ja muihin artikkeleihin, sekä erilaisiin sääilmiöihin, ensisijassa voimakkaisiin tuuliin.

Vessarín ja Honkamäen koeruutujen erottamiseksi on Honkamäen koeruudun numeroon lisätty luku 100. Eli jos koeruudun numero on esimerkiksi 1, sijaitsee se Vessarissa ja koeruutu 101 puolestaan Honkamäellä.

Apuna laskelmissa oli tutkimuskenttien hakkuunjälkeiset puukohtaiset mittaustiedot vuodelta 2009, joista saatiin laskettua hakkuunjälkeinen elävä puusto kolmen aarin keskuskoealoilla ja tästä koko koealan puusto ja hehtaariohtainen puusto. Aikaisemmista hakkuista ajankohtineen ja poistumatietoineen sekä puukohtaisesta pituustiedosta oli myös hyötyä laskelmissa.

Mitattu tuhopuusto mahdollisti monipuolisen laskennan, kuten esim. keskuskoealojen, koko koealojen ja hehtaariohtaisen laskennan runkolukuna, pohjapinta-alana ja tilavuutena puulajeittain, käsittelytavoittain ja koealatoistoittain. Tuhopuiden sijaintitiedosta koealoilla sai hahmotettua metsikön reunan alttiutta verrattuna suojaisempaan keskustaan. Koekenttien kattavat tiedot jokaisen koealan naapuripuustosta auttoivat tulkinnassa, ja viimeksi tehdystä hakkuusta kulunut aika paljastavat tuuleen sopeutumisen merkitystä. Aineisto tarjoaa mahdollisuuden paljon kattavampaan analyysiin, kuin mitä tässä opinnäytetyössä on tehty.

## 8 TULOKSET

Aineistosta tehtyjen analyysien mukaan metsikön käsittelytavalla on suuri vaikutus tuulituhojen määrään. Eroihin vaikuttaa ainakin puuston tiheys, alalle jätetyt puulajit, ja niiden suhteellinen määrä, puiden kokojakauma, sekä harvennuksien määrä ja aikaväli.

### 8.1 Puulaji

Useimmilla koeruuduilla kuusi oli selkeä valtapuu, ja niissä sitä olikin tuhoutunut eniten. Koivikkoja oli viisi, ruudut 25 (SjhY), 27 (Välj), 46 (Sjh), 129 (Ah) ja 136 (Ah). Keskimäärin näiltä aloilta oli tuhoutunut koeruudun kokonaisrunkolukuun nähden 1,2 %, mikä huomattavan pieni määrä. Koivikoissa kasvoi kuusta alikasvoksena, mutta ne olivat niin pieniä, etteivät ne olleet alttiita tuulille, eikä näin pieniä puita olisi muutenkaan mitattu. Kuvassa 1 on yksi koivikko Vessarista.



KUVA 1. Alaharvennetun puuston väljennyshakkuin (Väljk) käsitelty koeruutu 27 (Kuva: Tommi Takala 2013)

Taulukossa 4 on aineiston suuruuden selventämiseksi kaikkien tuulituhopuiden eri puulajien kappalemäärät käsittelytavoittain. Kun kunkin puulajin kaikki tuhopuut lasketaan yhteen ja lasketaan kunkin puulajin prosenttiosuudet, on kuusen osuus kaikista tuulituhopuista 85 %, koivun 11 %, männyn 3 % ja haavan 1,1 %.

TAULUKKO 4. Tuhopuiden eri puulajien kappalemäärät käsittelytavoittain, ja prosenttiosuudet

	Jk	M m	Väl j	Välj k	Yh	Ah	Sjh	Sjh Y	K	Yhteensä	Prosent- tiosuus
ha	2	2	0	0	0	0	0	2	0	6	1,05
ko	29	5	0	3	3	4	3	16	0	63	11
ku	180	31	16	1	67	40	63	78	10	486	85
mä	3	0	4	0	0	4	5	1	0	17	2,97
Yhteensä	214	38	20	4	70	48	71	97	10	572	100
Prosent- tiosuus	37,4	6,6	3,5	0,7	12,2	8,4	12,4	17	1,8	100	
N	32	8	3	1	6	5	7	7	7	76	

Taulukossa 5 on esitetty taulukon 4 eri puulajien prosenttiosuudet käsittelytavoittain. Kuusen prosenttiosuudet ovat kaikissa käsittelytavoissa samaa luokkaa lukuun ottamatta koivuvaltaisia koeruutuja.

TAULUKKO 5. Tuhopuiden eri puulajien kappalemäärien prosenttiosuudet käsittelytavoittain

	Jk	Mm	Välj	Väljk	Yh	Ah	Sjh	SjhY	K
ha	0,9	5,3	0	0	0	0	0	2,1	0
ko	14	13	0	75	4,3	8,3	4,2	17	0
ku	84	82	80	25	96	83	89	80	100
mä	1,4	0	20	0	0	8,3	7	1	0
Yhteensä	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N	32	8	3	1	6	5	7	7	7

Taulukossa 6 on koeruutujen pystypuumäärien prosenttiosuudet puulajeittain. Taulukosta ilmenee, miten voimakkaasti kukin puulaji on todella kärsinyt.



TAULUKKO 6. Vuoden 2009 hakkuun jälkeisten pystypuiden eri puulajien prosenttiosuudet käsittelytavoittain

Käsittelytapa	Jk	Mm	Välj	Väljk	Yh	Ah	Sjh	SjhY	K
ha	2,5	0,7	0	0	1,8	1,2	0	1,8	2,4
ko	23	15	13	100	20	91	15	24	20
ku	73	84	75	0	72	5,9	85	62	76
mä	1,5	0,5	13	0	6,3	1,6	0	12	2,7
Yhteensä	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N (ruudut, kpl)	32	8	3	1	6	5	7	7	7

Vastaavasti kunkin puulajin pystypuiden yhteenlasketun määrän prosenttiosuudet, on kuusella 74 %, koivulla 22 %, männyllä 1,9 % ja haavalla 2 %. Verrattuna pystypuiden eri puulajien välisiin prosenttiosuuksiin on mäntyä kaatunut suhteellisesti eniten ja kuusta toiseksi eniten. Tosin mukana on myös voimakkaasti kallistuneet puut, ja koivulla niitä on ollut huomattavan paljon, ja nimenomaan lumikuorman aiheuttamana.

Eino-myrskyssä suhteellisesti suurin tuho keskittyy haapaan jonka osuus kaikista tällöin tuhoutuneista puulajeista on 2,9 %, seuraavaksi kuuseen, jonka osuus kaikista puulajeista on 91,2 %, koivun 5,9 % ja männyn 0,00 %. Kuvan 2 kuusi kaatui Eino-myrskyssä, jo valmiiksi voimakkaita tuulituhoja kärsineellä koeruudulla.



KUVA 2. Eino-myrskyssä kaatunut kuusi, Honkamäki (Kuva: Tommi Takala 2013)

Pystypuiden määrä ruuduilla on laskettu keskuskoealan kaikista puista (vuoden 2011 mittaukset), ja yleistetty käsittämään koko alan puustoa. Männyn ja haavan osuus koealoilla oli tosiasiasa pienempi kuin laskelmissa. Tuhopuissakin mäntyä ja haapaa oli sen verran vähän, että niiden suuri suhteellinen osuus pystypuista nousee turhan suureen rooliin, vieläpä, kun puut varsinkin haavan kohdalla olivat varsin pienikokoisia.

Taulukossa 7 on tuulituhopuiden 2009–2013, Eino-myrskyn tuulituhopuiden ja pystypuiden puulajijakaumat. Suluissa oleva luku ilmaisee tuulituho- ja pystypuiden suhteen. Mitä suurempi luku, sitä suurempi osuus kyseisellä puulajilla on tuulituhopuita.

TAULUKKO 7. Vuosien 2009–2013 tuulituhopuiden, Eino-myrskyn tuulituhopuiden ja pystypuiden puulajijakaumat, sekä tuulituho- ja pystypuiden suhteen ilmaiseva luku (suluissa), prosenttiosuus pystypuiden prosenttiosuudesta.

Puulaji	Haapa	Koivu	Kuusi	Mänty
Tuulituhopuut 2009–2013, %, (%)	1,1 (54)	11 (50)	85 (115)	3 (154)
Tuulituhopuut 17.11.2013, %, (%)	2,9 (149)	5,9 (27)	91 (123)	0 (0)
Pystypuut vuoden 2009 hakkuun jälkeen, %, (%)	2	22	74	1,9

## 8.2 Metsikön tiheys, rakenne ja tuhoutumisaste

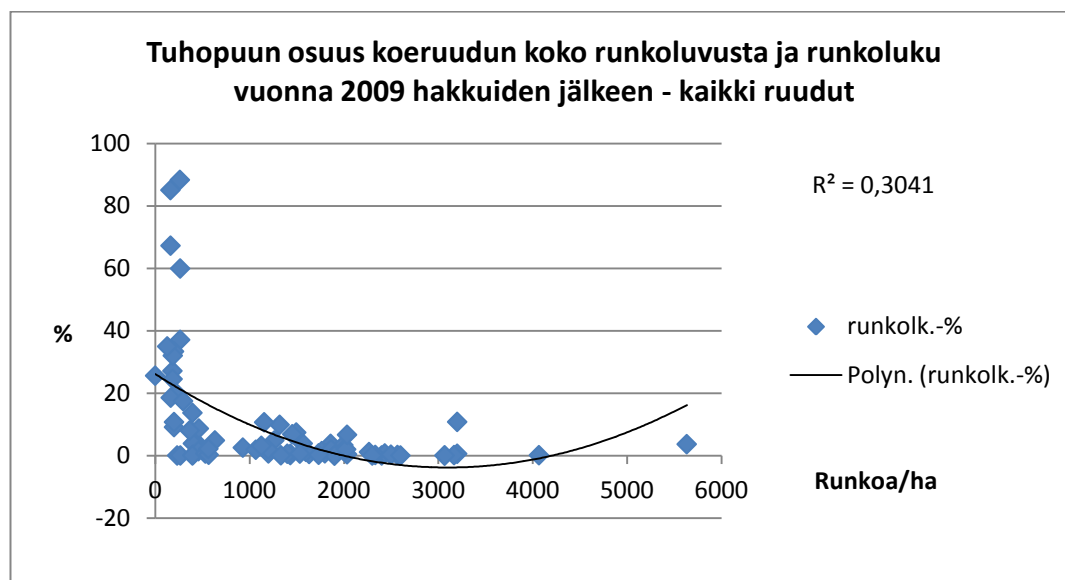
Luvussa 8.2.1 vertailut on tehty kaikilla ruuduilla ja käsittelytavoittain. Luvun 8.2.2 vertailut on puolestaan tehty eri käsittelytapojen ja käsittelytaparyhmien välillä, ja lajittelu ryhmiin on tehty sen mukaan, ovatko ne osa samaa metsänhoidon jatkumoa. Tämä tiivistää ja selkeyttää käsittelytapojen eroja ja yhtäläisyyksiä.

### 8.2.1 Kaikki koeruudut yhdessä, ja käsittelytavoittain

Verrattaessa eri ruutujen tuulituhopuiden suhteellista osuutta koko puuston määrään, nähdään, että mitä korkeampi pohjapinta-ala ja runkoluku alalla on, sen vähemmän sieltä on puita kaatunut. Tällainen on esimerkiksi ruutu 7, tuhoprocentti (pohjapinta-ala) 0 % (K). Harvemmassa metsikössä tilanne on päinvastainen, ja tällaisilla koeruuduilla



tuhoprosentti oli jopa 90 %, ruutu 22, (Sjh). Kuviossa 1 on tuhopuun osuus koeruudun koko runkoluvusta kaikilla koeruuduilla. Korrelaatiokerroin 0,3 ei ole kovin hyvä, kun olettaen on, että tuhopuun määrä ja runkoluku (tiheys kpl/ha) ovat riippuvaisia toisistaan. Kaikki korrelaatiokertoimet on saatu polynomisella suuntaviivalla. Lineaarilla suuntaviivalla tehtynä korrelaatiokertoimet olisivat pienempiä.

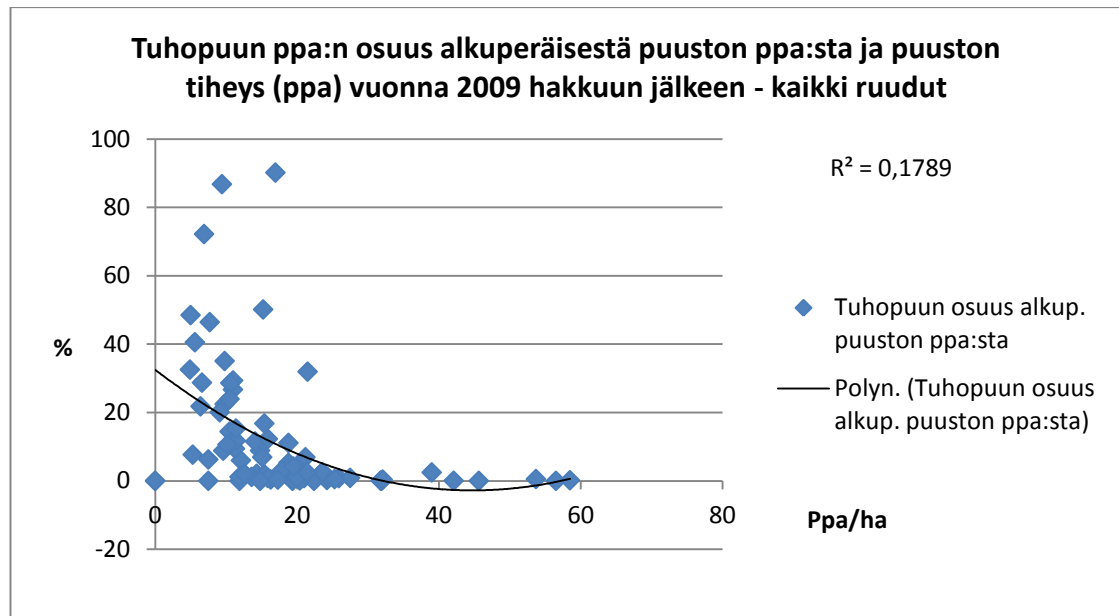


KUVIO 1. Tuhopuiden osuus koeruudun koko runkoluvusta ja runkoluku vuonna 2009 hakkuiden jälkeen, kaikki koeruudut

Korrelaatiokerrointa selittää osin kuitenkin se, että aineistossa on viisi eri tavoin käsiteltyä koivikkoa, joiden runkoluku on välillä 233–567 kpl/ha. Koivikoissa tuhopuiden määrät ovat säännönmukaisesti hyvin pienet, koska koivu kestää hyvin tuulta. Joidenkin tiheiden metsien suhteellisen suuri tuhopuuosuus selittyy runsailla tuulituhoilta koeruutujen reunoilla, ja voi olettaa, että jos koeruudut olisivat olleet suurempia, niin suhteellinen tuhopuun määrä olisi jäänyt pienemmäksi. Harvemmissa puustoissa reunavaikutus ei tuntunut, koska ne itsessään jo olivat sen verran harvoja.

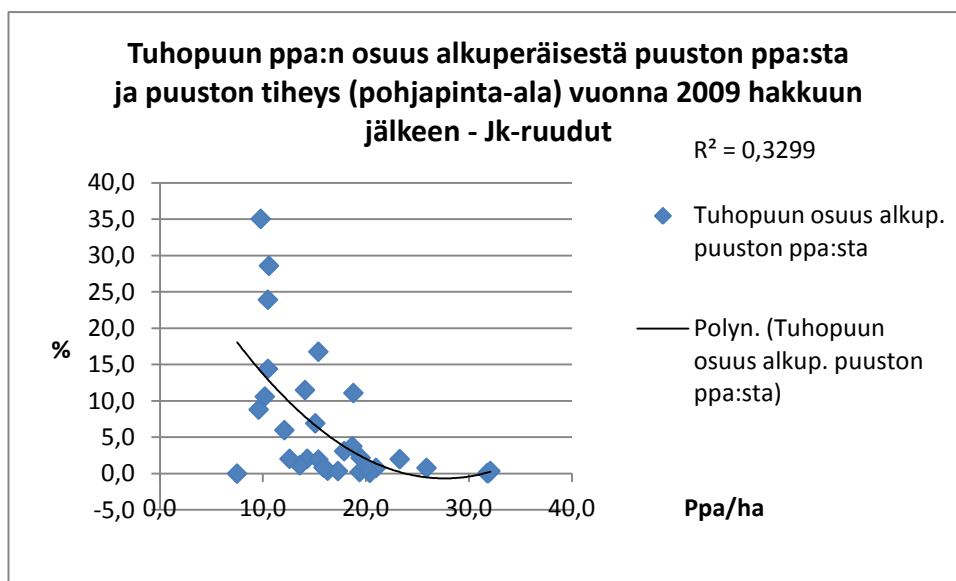
Tuhopuun pohjapinta-alan osuudella vuoden 2009 (hakkuun jälkeisestä) puuston pohjapinta-alasta näyttää olevan runkolukuakin heikompi lineaarinen yhteys, 0,18 (Kuvio 2). Runkoluvun ja pohjapinta-alan korrelaatiokertoimen välinen ero on ennako-oletusten vastainen, sillä voisi ajatella, että pohjapinta-ala kertoisi paremmin puuston tiheyden ja sitä kautta myös ruudun alkuperäisen pohjapinta-alan suhteen tuhoprosenttiin. Pitkät, ja täten myös paksummat puut nimittäin kaatuvat lyhyitä herkemmin. Tulos kertoo ainakin

siitä, että suurelta osin tiheys ei korreloi tuulituhoprosentin kanssa, mutta jos vertaillaan ruutuja yhden käsittelytavan sisällä, niin korrelaatio on jo selvempi. Toisaalta tulos kertoo myös sen, kuinka moninaisia tuulituhoihin vaikuttavat tekijät ovat, eikä niiden suuruutta voi selittää vain yhdellä tekijällä.



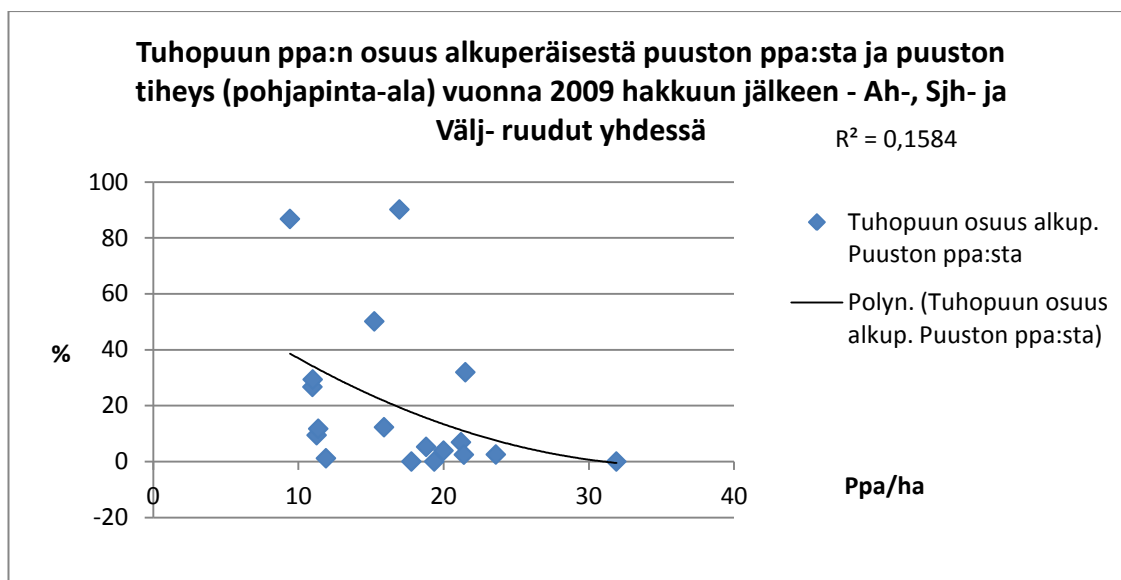
KUVIO 2. Tuhopuun pohjapinta-alan osuus alkuperäisestä puuston pohjapinta-alasta

Samanlainen, vain Jatkuvan kasvatuksen (Jk) ruuduille tehty kuvio (Kuvio 3) havainnoi, miten tuhopuun pohjapinta-alan osuus alkuperäisen puuston pohjapinta-alasta eroaa eri käsittelytapojen välillä. Tässä opinnäytetyössä pyritään pääsemään selville erityisesti jatkuvan kasvatuksen menetelmillä kasvatettujen metsiköiden tuulituhoherkkyydestä, siksi Jk-ruutu on erikseen. Korrelaatiota on tässä selvästi enemmän kuin kaikkia ruutuja yhdessä verrattaessa ( $R^2 = 0,33$ ).



KUVIO 3. Tuhopuun pohjapinta-alan osuus alkuperäisestä puuston pohjapinta-alasta – Jatkuvan kasvatuksen (Jk) ruudut

Kuviossa 4 on yhdistetty samalla periaatteella Ah-, Sjh- ja Välj- ruudut, jotka korreloivat edellistä jatkuvan kasvatuksen ruutuja selvästi vähemmän. Käytännössä korrelaatiota ei juuri ole.



KUVIO 4. Tuhopuun pohjapinta-alan osuus alkuperäisestä puuston pohjapinta-alasta - Ah-, Sjh- ja Välj- ruudut yhdessä

Taulukko 8 näyttää koeruudun keskimääräisen tuulituhopuumäärän (runkoluku) käsitteilytavoittain, suuruusluokkien hahmottamiseksi.

TAULUKKO 8. Tuhoutuneiden puiden keskimääräinen määrä (runkoluku) ruudulla käsittelytavoittain

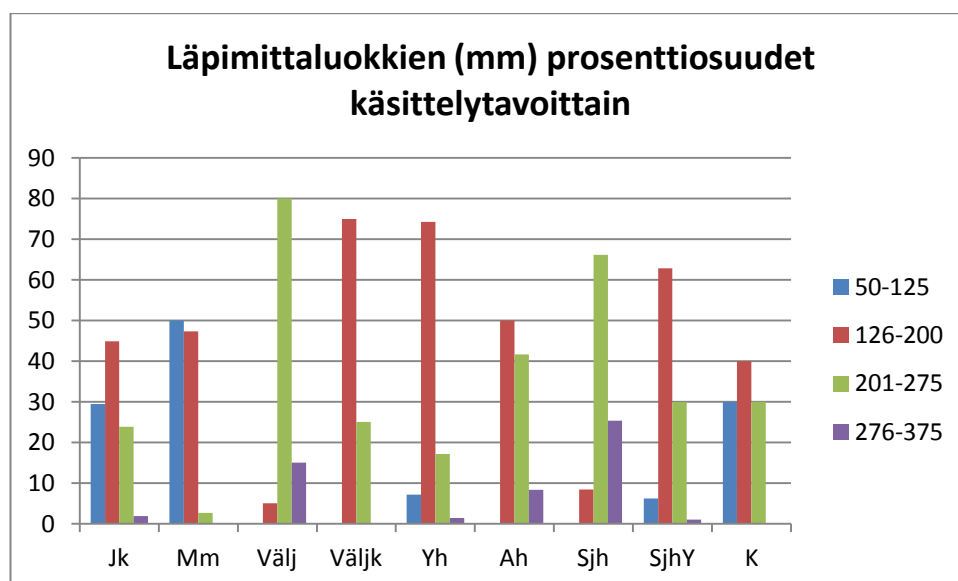
Käsittelytapa	Jk	Mm	Välj	Väljk	Yh	Ah	Sjh	SjhY	K
Kpl	6,9	6,3	6, 7	4	11, 7	12	10,1	13,9	4,3
N (ruudut, kpl)	32	8	3	1	6	5	7	7	7

Taulukossa 9 on tuulituhopuiden pohjapinta-alan suhde ruudun kaikkien pystypuiden pohjapinta-alaan käsittelytavan keskiarvona (%). Se suhteuttaa tuulituhopuiden pohjapinta-alan ruudun koko puuston pohjapinta-alaan. Varsinkin Sjh- ja SjhY- ruutujen tuhoprosentti on merkittävän suuri.

TAULUKKO 9. Tuulituhopuiden pohjapinta-alan suhde ruudun kaikkien pystypuiden pohjapinta-alan määrään, käsittelytavan keskiarvo (%)

Käsittelytapa	Jk	K	Mm	Ah	Sjh	Välj	SjhY	Yh
Tuhopuu- %, pohjapinta-ala, keskiarvo	6,4	0,5	3,4	7,3	38	5,7	38	25
N (ruudut, kpl)	32	7	8	5	7	4	7	6

Kuviossa 5 on tuhopuiden läpimittaluokkien (mm) prosenttiosuudet käsittelytavoittain. Kuviosta näkee esimerkiksi sen, että Välj- ja Sjh- aloilla on kaatunut eniten järeitä puita, ja Mm-ruuduilla eniten pieniläpimittaisia puita.



KUVIO 5. Tuhopuiden läpimittaluokkien (mm) prosenttiosuudet käsittelytavoittain

Joitain poikkeuksia lukuun ottamatta näyttää siltä, että mitä suurempi tuhoprosentti alalla on, sitä suurempia puita sieltä on tuhoutunut. Toinen selitys voi olla se, että jos alalta on kaatunut paksuja suuria puita, niin se luonnollisesti nostaa ruudun tuhoutuneiden puiden pohjapinta-alaa muiden ruutujen tuhoutuneiden puiden pohjapinta-alaan nähden. Kuitenkin niillä aloilla, joilla on kaatunut suhteessa paljon suuria puita, kaikki puut ovat melko samankokoisia, ja tämä ei nosta tuhopuun osuutta kokonaispuustosta ruudulla.

### 8.2.2 Käsittelytavoittain ja ryhmittäin

Ah (alaharvennettu tasarakenteinen puusto), Sjh (alaharvennetun puuston normaali suojuspuuhakkuu, jätetään 200 kpl/ha) ja Välj (alaharvennetun puuston väljennyshakkuu, jätetään 400 kpl/ha) sekä Sjhy (alaharvennetun puuston yläharvennusluonteinen suojuspuuhakkuu, jätetään 200 kpl/ha) ja Yh (alaharvennetun puuston yläharvennus, jätetään 400 kpl/ha) ovat samaa jatkumoa, siksi ne ovat taulukossa 10 vierekkäin, ja yhdistetty taulukossa 11. Jk (erirakenteinen puusto, käsitellään jatkuvan kasvatuksen hakkuulla), K (käsitlemätön kontrolli, erirakenteinen) ja Mm (määrämittahakkuulla ( $d_{1,3} > 16$  cm) vuonna 1986 ja uudelleen 2004 käsitelty puusto, erirakenteinen)- ruudut taas ovat käsitelty selvästi muista käsittelytavoista eroavasti, ja siksi ne esitetään yksinään myös taulukossa 11. Taulukoissa on pohjapinta-alojen ja runkolukujen keskiarvot sekä vaihteluvälit ja tuhopuuprosentit käsittelytavoittain.

TAULUKKO 10. Pohjapinta-alojen ja runkolukujen keskiarvot sekä vaihteluvälit, ja tuhopuuprosentit käsittelytapoittain

Käsittelytapa	Jk	K	Mm	Ah	Sjh	Välj	SjhY	Yh
Ppa/ha, keskiarvo	17	48	21	22	12	17	6	14
Ppa/ha, vaihteluväli	7,5- 32	39- 59	9 - 26	18- 30	9- 17	12- 20	5- 10	6 - 21
Runkoluku/ha, keskiarvo	1613	3261	3138	492	224	373	219	448
Runkoluku/ha, vaihteluväli	929- 2567	2333- 4633	2367- 5700	395- 567	167- 267	233- 433	133- 333	265- 633
Tuhopuiden määrä/ruutu, keskimäärin	6,9	1,4	4,8	8	11	6	14	12
Tuhopuiden määrä/ruutu, vaihteluväli	0- 23	1- 4	0- 23	0-31	5- 19	4-11	6- 25	1- 39
Tuhopuuprosentti, ppa, keskiarvo	6,4	0,5	3,4	7,3	38	5,7	38	25
Tuhopuuprosentti, ppa, vaihteluväli	0- 35	0- 2,5	0- 20	0- 32	9,4- 34	1,2- 12	14- 49	4,6- 66
Tuhopuuprosentti, runkoluku, keskiarvo	2,3	0,3	1,3	8,4	26	5, 7	36	12
Tuhopuuprosentti, runkoluku, vaihteluväli	0- 11	0- 1,1	0- 7,1	0- 34	10- 45	3,6- 11	21- 54	0,6- 37
N (ruudut, kpl)	32	7	8	5	7	4	7	6

Taulukossa 11 saman käsittelytapajatkumon koeruudut on yhdistetty. Näin myös vaihteluvälit suurenevat.

TAULUKKO 11. Pohjapinta-alojen ja runkolukujen keskiarvot sekä vaihteluvälit käsittelytaparyhmittäin.

Käsittelytapa	Jk	K	Mm	Ah, Sjhy ja Välj	Sjhy ja Yh
Ppa/ha, keskiarvo	17	48	21	17	10
Ppa/ha, vaihteluväli	8- 32	39- 59	9 - 26	9- 30	5- 21
Runkoluku/ha, keskiarvo	1613	3261	3138	363	333
Runkoluku/ha, vaihteluväli	929- 2567	2333- 4633	2367- 5700	167- 567	133- 633
Tuhopuiden määrä/ruutu, keskimäärin	6,9	1,4	4,8	8	13
Tuhopuiden määrä/ruutu, vaihteluväli	0- 23	1- 4	0- 23	0-31	1- 39
Tuhopuuprosentti, ppa, keskiarvo	6,4	0,5	3,4	12	27
Tuhopuuprosentti, ppa, vaihteluväli	0- 35	0- 2,5	0- 20	0- 34	5- 66
Tuhopuuprosentti, runkoluku, keskiarvo	2,3	0,3	1,3	13	24
Tuhopuuprosentti, runkoluku, vaihteluväli	0- 11	0- 1,1	0- 7,1	0- 34	0,6- 71
N (ruudut, kpl)	32	7	8	5	7

K ja Mm- ruudut olivat puustoltaan tiheimpiä. Myös Jk-ruuduilla oli varsin tiheää puustoa, vaikka vaihtelua oli ruutujen välillä paljon. Kontrolli (K) ei ole kovin tarkoituksenmukainen, sillä, jos puustoa ei mitenkään käsitellä, alkaa kasvu suuren tiheyden vuoksi kärsiä. Kuva 3 on esimerkki kontrolli-koeruudusta, jossa puuston runkoluku on suuri, puut pieniä ja luontaisesti kuolleita puita on paljon.



KUVA 3. Käsittelemätön kontrolli, erirakenteinen (K) koeruutu 39 (Kuva: Tommi Takala 2013)

Jatkuvan kasvatuksen (Jk) ruutujen puuston pitäisi olla voimakkaan, vuoden 2009 hakkuun jälkeen nopeasti kasvava, sillä vapautuneilla puilla on nyt enemmän tilaa ja ravinteita. Kaikkia Jk-ruutuja ei tosin hakattu tuolloin, eikä pohjapinta-ala ollut hakkuun jälkeen ihanneluokassa (pohjapinta-ala alle 10 m<sup>2</sup>/ha), kuin kahdeksassa tapauksessa (joista kahdessa vähän yli 10 m<sup>2</sup>/ha). Pohjapinta-alan keskiarvo kaiken kaikkiaan oli 17 m<sup>2</sup>/ha. Runkoluvun keskiarvo on joka tapauksessa näistä kolmesta eri käsiteltävästä pienin.

Ainuttakaan määrämittahakkuuruutua ei käsitelty vuonna 2009, vaan viimeksi 1986, mutta runsaan jäljelle jääneen pienpuuston ansiosta on ruuduilla suuri runkoluku ja elpyminen on ollut hyvää. Taulukosta 10 näkee tunnusluvut. Noin 2500 runkoa heh-

taarilla on ylivoimaisesti yleisin määrä Mm-ruudulla, mutta ruudun 32 suuri runkoluku (5633) nostaa reilusti keskiarvoa. Runkoluvun ja pohjapinta-alan vaihteluväli on tosin varsin suurta myös muiden saman käsittelytapojen ruutujen välillä.

Ah, Sjh ja Välj (Ryhmä 2) ovat tasarakenteismetsien eri käsittelytapoja, sillä niissä käytetään alaharvennuksia ja lopulta avohakkuuta. Pohjapinta-ala ja varsinkin runkoluku ovat edellisiin verrattuna varsin pienet (Taulukko 10 ja 11). Tuhopuuprosentin (pohjapinta-ala) vaihteluväli on huomattavan suurta, samoin kuin tuhopuiden määrän ja tuhopuu- %:n (runkoluku) vaihteluväli.

SjhY ja Yh (Ryhmä 3) ovat tasa- ja erirakenteisen metsänhoidon välimuotoja, sillä vaikka molemmissa on aluksi tehty alaharvennus, niin viimeisimpänä tehty toimenpide, eli yläharvennus, on erirakenteismetsikön ydinmenetelmä, jolla metsikkö pidetään jatkuvasti peitteisenä nuorempaa kasvosta vapauttamalla. Yläharvennusta voidaan käyttää myös tasarakenteiskasvatuksen viimeisessä harvennuksessa ennen päätehakkuuta järeän puuston poistamiseksi. SjhY:ssä yläharvennus on tehty suojuspuuhakkuuna, jolloin lopullinen runkoluku on ollut 200 kpl/ha, tavoitteena luontainen uudistuminen, Yh:ssa puolestaan 400 kpl/ha. Joka tapauksessa isoimpia puita on poistettu molemmissa ja puusto jätetty melko harvaksi. Vaihteluvälit lähes kaikissa tunnuksissa (Taulukot 10 ja 11) ovat hyvin suuria.

Kuvassa 4 on runsaasti tuhoja kokenut SjhY-koeruutu. Koivuja on melko runsaasti ja ne ovat kärsineet tuulen lisäksi lumesta (voimakkaasti kallistuneita koivuja ja kuusia).





KUVA 4. Alaharvennetun puuston yläharvennusluonteisella suojuspuuhakkuulla (SjhY) käsitelty koeruutu 49, (Kuva: Tommi Takala 2013)

Jatkuvan kasvatuksen (Jk) koeruutujen vuoden 2009 hakkuun jälkeisen pohjapinta-alan keskiarvo on 17, K-ruutujen 48 ja Mm-ruutujen 21 m<sup>2</sup>/ha. Ah, Sjh ja Välj (Ryhmä 2)-ruutujen 17 sekä SjhY ja Yh (Ryhmä 3)-ruutujen 10 m<sup>2</sup>/ha. Runkoluvut ovat jatkuvan kasvatuksen (Jk) koeruuduilla keskimäärin 1613, K-ruuduilla 3261 ja Mm-ruuduilla 3138 kpl/ha. Ah-, Sjh- ja Välj (Ryhmä 2)-ruuduilla 363 sekä SjhY ja Yh (Ryhmä 3)-ruuduilla 333. Näiden tekijöiden, siis tiheyden suhteen Jk-, K- ja Mm-koeruuduilla on paras tuulenkestävyys ja Ryhmän 3 koeruuduilla pienin. Kuitenkin tarkastelun kohteena olevien Jk-ruutujen tiheys sijoittuu K- ja Mm-ruutujen sekä ryhmien 2 ja 3-ruutujen väliin. Myös saman käsittelytavan eri ruutujen välillä tehdyt mittaukset (Kappale 9.9) puhuvat tämän puolesta.

Tuhopuiden määrä osuus (%) pohjapinta-alasta ja runkoluvussa puoltavat yksiselitteisesti olettamusta, siitä, että Jk-, K- ja Mm-koeruuduilla on pienimmät tuhot ja Ryhmän 3 suurimmat. Tosin ryhmän 2 Sjh-ruudulla on kaikista suurin tuhopuiden osuus. Tuhopuumäärä/ruutu on Jk-ruuduilla keskimäärin 6,9, K-ruuduilla 1,4, Mm-ruuduilla 4,8, Ryhmässä 2 8,1 ja Ryhmässä 3 13. Tuhopuuprosentti (pohjapinta-ala) on Jk-ruuduilla 6,4, K-ruuduilla 0,5, Mm-ruuduilla 3,4, Ryhmässä 2 17 ja Ryhmässä 3 31 ja tuhopuu-

prosentti (runkoluku) Jk-ruuduilla 2,3, K-ruuduilla 0,3, Mm-ruuduilla 1,3, Ryhmässä 2 20 ja Ryhmässä 3 27.

Jk-, K- ja Mm-koeruutujen tuhomääriä ja prosentteja on ehkä alentanut, se, että Jk-ruuduista osa ja Mm- sekä K- ruuduista kaikki jätettiin hakkaamatta vuonna 2009. Tosin myös Ryhmän 2 Ah-ruuduista kaikki ja Ryhmän 3 Yh-ruuduista kolmasosa jätettiin tuolloin hakkaamatta.

### 8.3 Puun läpimitta

Myös näihin vertailuihin on otettu mukaan nekin ruudut, joille ei ole sattunut tuuli- tai lumituhoja. Kappaleessa 9.2, Taulukko 9, Kuvio 5, on päädytty siihen, että mitä suurempia puita alalta on tuhoutunut, sitä suurempi on myös tuhoprosentti. Tämä on pääsääntö, mutta taulukosta 12 ja 13 näkee, että suuremman tuhoprosentin Ryhmän 3 ruuduilla on toiseksi suurimmat puut, ja suurimmat toiseksi suurimman tuhoprosentin ruuduilla. Tämä voi selittyä yksinkertaisesti Ryhmän 3 puuston pienemmällä tiheydellä, varsinkin pohjapinta-alalla mitattuna, ja suuremmalla hakkuupoistumalla. Pysty- ja muiden puiden läpimittajakauma on erittäin yhteneväinen Ryhmän 3 tuhopuiden kanssa, jonkin verran yhteneväinen Ryhmän 2 tuhopuiden kanssa (83 % yhteneväisyys), ja heikosti yhteneväinen Jk-, K- ja Mm-koeruutujen tuhopuiden kanssa (51 %). Jk-ruuduilla yhteneväisyys on (56 %). Syynä on ainakin se, että kokonaispuuston laskentaan on otettu mukaan kaiken kokoiset puut, ja tuulituhopuista on mitattu vain D1,3 yli 50 mm paksut puut. Ryhmissä 2 ja 3 ei ole läheskään niin paljon pieniläpimittaisia puita kuin Jk-, K- ja Mm- koeruuduilla, siksi läpimitat ovat vertailukelpoisempia.

Tulokset ovat kiintoisia senkin takia, ettei saman käsittelytavan ruutuja vertailemalla löytynyt yhteneväisyyttä puuston läpimitan ja tuhoprosentin välillä kuin Jk-ruuduilla.

TAULUKKO 12. Tuhoutuneiden sekä pysty- ja muiden puiden läpimittojen (mm) keskiarvot ja vaihteluvälit käsittelytavoittain

Käsittelytapa	Jk	K	Mm	Ah	Sjh	Välj	SjhY	Yh
Tuho-puiden lpm (mm), keskiarvo	162	152	161	209	261	229	187	184
Tuho-puiden lpm (mm), vaihteluväli	54-309	70-270	50-275	130-305	178-355	130-332	108-288	62-292
Pysty- ja poistumapuiden (vuoden 2011 mitaustilasto) lpm (mm), keskiarvo	91	85	68	200	204	177	190	180
Pysty- ja poistumapuiden (vuoden 2011 mitaustilasto) lpm (mm), vaihteluväli	2-402	3-354	3-270	71-391	77-337	70-293	66-379	58-331
N (ruudut, kpl)	32	7	8	5	7	4	7	6

TAULUKKO 13. Tuhoutuneiden sekä pysty- ja muiden puiden läpimittojen (mm) keskiarvot ja vaihteluvälit käsittelytaparyhmittäin

Käsittelytapa	Jk	K	Mm	Ah, Sjh ja Välj	Sjhy ja Yh
Tuho-puiden lpm (mm), keskiarvo	162	152	161	233	186
Tuho-puiden lpm (mm), vaihteluväli	54- 309	70- 270	50-275	130- 332	62- 292
Pysty- ja poistumapuiden (vuoden 2011 mittaustilasto) lpm (mm), keskiarvo	91	85	68	193	185
Pysty- ja poistumapuiden (vuoden 2011 mittaustilasto) lpm (mm), vaihteluväli	2- 402	3- 354	3- 270	70- 391	58- 379
N (ruudut, kpl)	32	7	8	16	13

Joka tapauksessa tuhot ovat keskittyneet kaikissa ryhmissä paksuimpiin puihin, joita on Taulukoiden 14- ja 15 perusteella 13 % tuhopuustosta. Lajittelu on tehty siten, että pienten puiden läpimittajakauma on 0-149 mm, keskikokoisten 150–249 mm ja suurten >250 mm. Hakkuun jälkeisessä puustossa paksua puustoa on suhteellisesti vähiten, vain 3 %, joten hakkuun jälkeisen puuston määrään verrattuna on suuriläpimittaista puuta tuhoutunut eniten. Hakkuun jälkeinen puusto on laskettu aikaisempien vuosien koeruu-  
tujen keskuskoealojen mittaustuloksista, siksi runkojen määrä on niin pieni (viimeisin mitta-  
mittaus vuonna 2011).

TAULUKKO 14. Vessarin ja Honkamäen tuhopuiden ja hakkuunjälkeisen puuston runkojakaumat absoluuttisina ja suhteellisina

Läpimittaluokka, mm, absoluuttinen runkojakauma								
	Alle 50	50–99	100–149	150–199	200–249	250–299	Yli 300	Yht
Puusto hj, runkoja (kpl)	366	431	256	195	132	41	12	1433
Tuhopuusto, runkoja (kpl)		49	107	193	147	58	18	572
Läpimittaluokka, mm, suhteellinen runkojakauma								
Puusto hj, %	26	30	18	14	9	3	1	100
Tuhopuusto, %	0	9	19	34	26	10	3	100

Laiho. O. sähköposti 2.4.2014

Taulukossa 15 on tuho- ja hakkuun jälkeisten puiden suhde toisiinsa. Mitä suurempi luku, sen suurempi osuus tuhopuuta on hakkuun jälkeiseen puustoon nähden.

TAULUKKO 15. Tuhopuun ja hakkuun jälkeisen puun suhteellinen runkojakauma, ja näiden väliset prosenttiosuudet

Lpm-luokka (mm)	0-149	150–249	250–350
Puusto hj, %	74	23	4
Tuhopuusto, %	27	59	13
Hj- puuston suhde tuhopuuhun	0,37	2,61	3,61

Aivan pienimpiä (D1,3 <50 mm) puita lukuun ottamatta, hakkuun jälkeisten puiden lukumäärä ja suhteellinen osuus laskee sitä enemmän, mitä suurempaan läpimittaluokkaan siirrytään.

#### 8.4 Topografia ja maalaji

Seuraavassa on tarkasteltu, selittääkö maaperätekijät ja topografia Vessarin ja Honkamäen tuhopuiden määrien ja tuhoprocenttien eroja. Tutkimusmetsät eroavat maaperältään ja topografialtaan jonkin verran toisistaan, mutta tieto näistä on sen verran epätarkkaa ja epävarmaa, ettei saaduista tuloksista voi vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

Honkamäki on lounaaseen tasaisen loivasti viettävä, maalajiltaan kivetön moreeni, hie-  
man Vessaria (OMT-) karumpi (MT+). Vessari on etenkin koekentän alkupäässä selväs-  
ti reunoille laskeva ja etenkin yläviltä osiltaan melko kivinen hiekkamoreeni, reunaosis-  
sa hieman enemmän hienoja aineksia. (Laiho, O sähköposti 12.1.2014)

Kivettömän moreenin hienoainepitoisuudesta ei ole tietoa, mutta voidaan olettaa, ettei  
se kuitenkaan ole hienoimpia maalajeja. Tämän takia se ei olisi erityisen altis tuulitu-  
hoille. Vähemmän alttiit reunaosat taas sisältävät enemmän hienoja aineksia, mikä kas-  
vattaa jonkin verran tuulituhoriskiä.

TAULUKKO 16. Tuulituhopuun osuus (pohjapinta-alasta), käsittelytapojen  
pohjapinta- alan keskiarvo.

	Vessari		Honkamäki	
Käsittelytapa	Reuna	Keskus	Kaikki	N (ruudut, kpl)
Ah	3,1		12	5
Jk	2,9	3,5	12	32
K	0,4	0,04	2,5	7
Mm	0,6	0,9	6,2	8
Sjh	11	27	64	7
SjhY	39	3	39	7
Yh		14	12	6
Välj	5,2	8,1	-	4

Taulukko 16 on hyvin karkea laskelma tuulituhopuiden osuudesta (pohjapinta-ala), kä-  
sittelytavoittain pohjapinta-alan keskiarvona Vessarissa erikseen reuna- ja keskusruudut  
laskettuna, ja kauttaaltaan melko samanlaisen maaperän ja topografian omaavan Hon-  
kamäen kaikki yhdessä laskettuna, mutta kuitenkin käsittelytavat erikseen. Kaikkia kä-  
sittelytapoja eikä ruutuja ole mukana koska joko vertailtavia ruutuja ei ollut, tai esim.  
pelkkiä koivuja sisältäviä ruutuja oli turha ottaa mukaan.

Honkamäen tuhoprosentti näyttää olevan merkittävästi suurempi lähes jokaisella käsit-  
telytavalla, verrataan sitä sitten Vessarin kiviseen hiekkamoreeniin tai reunaosien hie-  
man hienompaan maaperään. Tulos ei vaikuta kovin loogiselta, mutta on silti selvä. Ero  
Vessariin on suuri esim. Vessarin Ah, Jk, K, Mm ja Sjh (reuna)- käsittelytavoissa. Kes-  
kustaa hienojakoisempaa maata sisältävissä reunaosissa tuhot eivät ole systemaattisesti  
keskustaa suuremmat tai päinvastoin. Reunaruu-  
tujen runkoluku ei eroa merkittävästi  
keskusruutujen runkoluvusta Sjh:ta lukuun ottamatta. Sjh:n runkoluku on Vessarissa

keskimäärin pienempi kuin Honkamäellä, mutta tämä vahvistaa Honkamäen suurempaa tuhoprosenttia. Voi olla, että eroavaisuudet selittyvät pikemmin maaperätekiijöillä kuin korkeuseroilla, sillä kyse on kuitenkin loppujen lopuksi melko tasaisesta maastosta. Jos korkeudella on tässä tapauksessa väliä, on lähes mahdotonta määritellä sen osuutta tuulituhouissa. Kaiken kaikkiaan näin pienellä otoksella, ja pintapuolisella analyysillä ei voida tehdä yleistettäviä johtopäätöksiä, johtuen lukuisista muista tuulituhoihin vaikuttavista tekijöistä, ja siitä, että kaikki ruudut eivät varmasti sisällä puhtaasti esim. kivistä hiekkamoreenia, vaan maalajit vaihtuvat vähitellen.

Erot voivat selittyä Vessarin ja Honkamäen välillä yksinkertaisesti tuuleen itseensä liittyvillä, puuskaisuuteen liittyvillä alueellisilla eroilla. Selitys ei välttämättä liity lainkaan maaperään tai topografiaan.

## 8.5 Ympäröivä puusto

Maastossa oli selvästi havaittavissa tuulituhopuiden paljous koeruutujen reunoilla, varsinkin sellaisilla, joiden ympärillä puusto oli avointa. Voidaan ajatella, että ruutujen pienenudesta, varsinkin Honkamäellä, johtuen ei ympäröivän puuston avoimuudella ole juurikaan merkitystä, sillä tuuli pääsee joka tapauksessa melko vapaasti puhaltamaan puuston läpi, eikä niin lyhyellä matkalla ehdi hidastua. Tuulen nopeus hidastuu kuitenkin tämän hetken tiedon mukaan alkuperäisestä 30 metrin matkalla 60–80 %:iin, 60 metrin matkalla 50 %:iin ja 120 metrin matkalla 7 %:iin (Barry, Chorley 2010. 405.), joten jotain vaikutusta ympäröivälläkin puustolla kuitenkin on. Käytännössä hidastuminen riippuu tietenkin puuston tiheydestä, eikä suojuvuudella ole lähes lainkaan hidastavaa vaikutusta. Vessarin kontrolliruutujen tiheä puusto estää tehokkaasti tuulen etenemisen. Avoimet ja vähäpuustoiset alat jakautuvat molemmissa tutkimusmetsissä melko tasaisesti, eikä millekään ruudulle muodostu poikkeavan suojaisia tai avoimia olosuhteita. Koska käsittelytavalla, siis muun muassa puuston tiheydellä on niin suuri vaikutus tuulituhojen määrään, niin käsittelen tuloksia käsittelytavoittain.

Tapa, jossa määriteltiin yhden koeruudun ympäröivän puuston avoimuutta yhdellä luvulla, huomioimatta kunkin yksittäisen reunan eroja, ei tuottanut ennakoitua tulosta, ei siis ilmennyt minkäänlaista korrelaatiota, ja joissain käsittelytavoissa lineaarisuus näytti olevan miltei päinvastaiseen suuntaan menevää.



Maastohavaintoihin ja näin jälkikäteen x- ja y- koordinaatteja (puun sijainti ruudulla), ja kaatumissuuntia tarkastelemalla, näyttää kuitenkin vahvasti siltä, että ympäröivän puuston avoimuus on yhteydessä koeruudun tuhoprosenttiin. Niilläkin kohteilla, joilla avoin tuulituhokeskittymä ei sijaitse avoimen alan reunalla, on avoimella alalla kuitenkin ollut monissa tapauksissa merkitystä siten, että tuuli on puhaltanut avoimen alan puolelta, ja kaatanut koeruudun kauimmaisella reunalla olevia puita. Tämä paljastuu tarkastelemalla puiden kaatumissuuntia.

Katkenneista puista ei voi tällaisia johtopäätöksiä tehdä, koska niitä katkaisseiden tuulten suuntia ei voi varmuudella päätellä. Toisaalta myös lumi on voinut katkoa puita. Niinpä olettamuksena on se, että jos katkennut puu sijaitsee avoimen aukean puolella, on avoimuudella ollut vaikutusta tuhoon. Myös selvästi kallistuneista puista on nähtävissä selvää korrelaatiota kallistumissuunnan ja avoimuuden välillä. Aineiston pienuudesta johtuen tulokset ovat kuitenkin lähinnä suuntaa antavia. Kuva 5 (koeruutu 18 (Sjh), on hyvä esimerkki siitä, että metsikön harvuus ja avoin ympäristö yhdessä lisäävät tuulituhoriskiä, ja altistavat monenlaiselle tuholle.



KUVA 5. Alaharvennetun puuston normaalein suojuspuuhakkuin (Sjh) käsitelty koeruutu 18, (Kuva: Tommi Takala 2013)

Edelleen on niin monia tuulituhoihin vaikuttavia tekijöitä ympäröivän puuston avoimuuden lisäksi, ettei voida ainakaan määritellä sitä, miten suuri osuus puuston avoimuudella on tuulituhossa ollut. Vaikuttavia tekijöitä ovat tässä tapauksessa erityisesti myrskyn voimakkuus ja luonne.

## 8.6 Puun sijainti metsikössä - etäisyys metsikön reunalta

Tämä näkökulma on hyvin lähellä edellistä, mutta ei kuitenkaan aivan sama asia, koska tämä parhaimmillaan paljastaa tuulen etenemisen vaikutuksen metsässä. Olettamuksena on se, että mitä tiheämpi metsikkö on, sen suurempi osuus ruudun koko tuulituhopuista sijaitsee koeruudun reunoilla. Tulosten luotettavuutta ja merkityksellisyyttä vähentää ruutujen pieni koko ja se, että kaatumissuuntia ei ole huomioitu. Koeruudun reunavyöhyke on tässä tapauksessa kymmenen ensimmäistä metriä koeruudun reunasta.

Saadut laskelmat metsikön tiheyden suhteesta puun sijaintiin metsikössä eivät osoittaneet minkäänlaista lineaarisuutta näiden kahden tekijän välillä. Syynä tulokseen voidaan pitää ainakin sitä, että raja siihen, mikä on reunapuu ja mikä ei, on hyvin jyrkkä. Myös eri ruutujen vertailtavuus oli epätasapainossa, sillä yhdellä ruudulla tuulituhopuista saattoi olla yksi, ja toisella kolmekymmentä.

Oletamus siitä, että suurin osa tuulituhopuista sijaitsee reunalla, piti tosin paikkansa. Kaikista tuulituhopuista 69 % sijaitsi koeruutujen reunavyöhykkeellä. Jos lukuun otetaan vain kaikki pohjapinta-alaltaan yli 15 m<sup>2</sup>/ha olevat koeruudut, on luku jopa hieman pienempi, väljemmissä metsiköissä luku oli vastaavasti hieman suurempi. Syynä voi olla ainakin se, että hyvin tiheillä aloilla oli korkeintaan vain pari tuulituhopuuta, ja oli enemmänkin vain sattumaa missä tuulituhopuu sattui sijaitsemaan.

## 8.7 Hakkuun voimakkuus

Harvemmat puustot ovat alttiimpia tuulituholle, mutta ero tulee siinä, kuinka pitkään puusto on ollut nykyisessä tiheydessä, ja kuinka voimakas muutos on ollut, eli kuinka suuri osa puustosta on poistettu, ja minkälaisiin puihin poisto on kohdistunut. Vessarin ja Honkamäen hakkuissa oli eroja eri käsittelytapojen välillä, mutta myös niiden sisällä.



Siksi on valaisevaa nähdä minkälainen yhteys harvennuksen voimakkuudella ja tuulituhuilla on. Oletamus on se, että yhteys on olemassa, sillä hakkuusta säästyneet puut ovat aiempaa alttiimpia tuulituhaille puuston harvenemisen vuoksi. Näin on mm. siksi, etteivät ne tässä uudessa tilanteessa ole niin kestäviä tuulia vastaan kuin silloin, jos ne olisivat sopeutuneet kasvamaan harvassa. Siis jos runko ja juuristo olisivat ajan saatossa ehtineet kehittyä kestävämmäksi räsistystä vastaan.

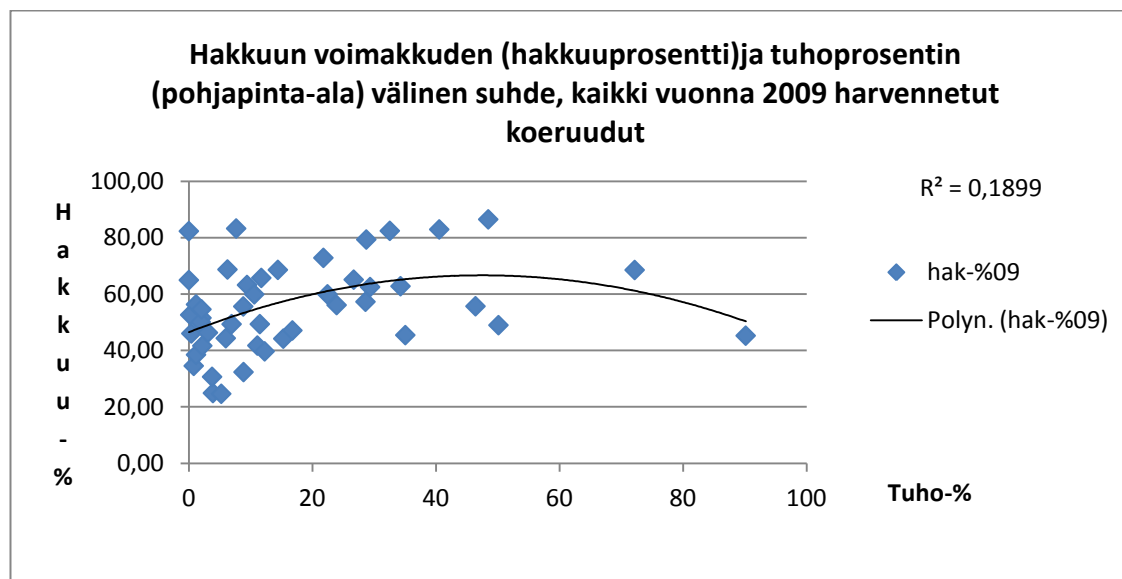
Taulukossa 17 on eri vuosina hakattujen koeruutujen määrät hakkuutavoittain. Esim. kaikilla Mm-ruuduilla viimeisin hakkuu on tehty jo vuonna 1986.

TAULUKKO 17. Viimeisin hakkuu käsittelytavoittain, ruutujen määrä/vuosi

Vuosi	Jk	Mm	Välj	Yh	Ah	Sjh	SjhY
1986		8			2		
1989	1						
1994					2		
2002	3						
2006	6			2	1		
2009	22		4	4		7	7

Saadut tulokset eivät juuri puoltaneet oletusta suhteellisesti suuremman harvennuksen tuulituhon lisäävästä vaikutuksesta kun vertailtiin kaikkia käsittelytapoja yhdessä: korrelaatiokerroin oli 0,19 (Taulukko 18). Vertailussa oli vain ruudut, joissa oli tehty hakkuuta vuonna 2009. Sen sijaan, kun vertailu tehtiin käsittelytavoittain, selkeää korrelaatiota ilmeni Välj:ssä ( $R^2 = 1$ ) ja SjhY:ssä ( $R^2 = 0,78$ ). Muilla käsittelytavoilla korrelaatiota ei juuri ollut; Yh ( $R^2 = 0,48$ ), Sjh ( $R^2 = 0,43$ ) ja Jk ( $R^2 = 0,42$ ). Korrelaatiokerroin on saatu polynomisella suuntaviivalla. Linearisella suuntaviivalla tehtynä korrelaatiokertoimet olisivat pienempiä.

TAULUKKO 18. Hakkuun voimakkuuden (hakkuuprosentti) ja tuhoprocentin (pohjapinta-ala) välinen suhde, kaikki vuonna 2009 harvennetut koeruudut



Taulukko18.1 kuvaa vuoden 2009 keskimääräisiä hakkuuprosenttia käsittelytavoittain ja taulukko19 käsittelytaparyhmittäin.

TAULUKKO 18.1. Vuoden 2009 hakkuun voimakkuuden (hakatun puuston määrä alkuperäisestä puustosta, %) keskiarvot sekä vaihteluvälit käsittelytavoittain

Käsittelytapa	Jk	Sjh	Välj	SjhY	Yh
Hakkuiden poistumaprocentti, vuosi 2009, keskimäärin	35	59	32	76	36
Hakkuiden poistumaprocentti, vuosi 2009, vaihteluväli	0-69	45-66	25-40	60-87	0-83
N (ruudut, kpl)	32	7	4	7	6

TAULUKKO 19. Vuoden 2009 hakkuun voimakkuuden (hakatun puuston määrä alkuperäisestä puustosta, %) keskiarvot sekä vaihteluvälit käsittelytaparyhmittäin

Käsittelytapa	Jk	Ah, Sjhy ja Välj	Sjhy ja Yh
Hakkuiden poistumaprocentti, vuosi 2009, keskimäärin	35	30	56
Hakkuiden poistumaprocentti, vuosi 2009, vaihteluväli	0-69	0-66	0-87
N (ruudut, kpl)	32	11	13

Jatkuvan kasvatuksen (Jk) ruuduilla on keskimäärin toiseksi pienimmät hakkuuprosentit, mutta ne eivät juurikaan eroa Välj- ja Yh- ruutujen hakkuuprosentista. Ryhmän 2 hakkuuprosentin keskiarvoon (30) nähden Jk-ruutujen hakkuuprosentti (35) on jonkin verran suurempi. Ryhmän 3 hakkuuprosentti taas on selkeästi suurempi (56). Minimi- ja

maksimi hakkuuprosentti ovat Jk-ruutujen ja Ryhmän 2 välillä lähes samat, ja Ryhmässä 3 edellisiä neljänneksen suurempi. Niin kuin taulukoista 18.1 ja 19 näkee, on hakkuuprosentin vaihtelu samankin käsittelytavan sisällä suurta, ja hakkuuprosentin yhteys tuhoprosenttiin on todettu ainakin Välj- ja SjhY- ruuduilla. Suuri hakkuuprosentti merkitsee tosin myös pienempää tiheyttä, ja näiden vaikutusta ei ole helppoa erottaa toisistaan.

## **8.8 Yksittäisten koeruutujen tarkastelua**

Joillekin ruuduille on osunut merkittävän suuria tuulituhoja. Ne eivät kuitenkaan erotu muista sellaisissa laskelmissa, jossa kaikille ruuduille tehdään laskelmia yhdessä. Seuraavassa tarkastellaan muutaman, syystä tai toisesta kiinnostavan koeruudun tilannetta, ja koetetaan löytää syytä sille, miksi juuri niille on tullut sellainen tuho kuin on tullut.

### **8.8.1 Koeruutu 22 (Yh) ja 28 (Yh)**

Koeruutu 22:ssa, Yh (alaharvennetun puuston yläharvennus) oli yhteensä 39 tuulituhopuuta, siis huomattava määrä muihin ruutuihin verrattuna. Niistä kaatuneita oli 24 ja katkenneita 15, ja kaikki kuusia. Ruudulla 28 puolestaan vain yksi tuulituhopuu, joka oli kaatunut kuusi. Vertailuun on otettu tutkimusmetsien kaikki Yh-alat, yhteensä kuusi kappaletta. Muita käsittelytapoja ei otettu mukaan, sillä vertailusta olisi tullut hyvin työlästä.

Kuvassa 6 on ruudun 22 tuulituhokuusia, joita on runsaasti niin kaatuneina kuin katkenneinakin.



KUVA 6. Koeruutu 22, Yh (Kuva: Tommi Takala 2013)

Taulukossa 20 näkyy eri koeruutujen eri ominaisuuksien eroavaisuudet, ja aivan ensimmäiseksi huomataan se, että koeruudun 22 tuulituoja ennen olevan pystypuuston runkoluku/ha on muita selkeästi pienempi. Hakkuuprosentti vuoden 2009 hakkuissa on toiseksi suurin. Suurimman hakkuuprosentin ruudulla on pienin pohjapinta-ala/ha, ja tuhoprosentti sijoittuu keskivaiheille. Ruutu 28 ei ole harvennettu, ja se on runkoluvun perusteella tihein ja pohjapinta-alan mukaan toiseksi tihein ruutu. Tämä vaikuttaisi selkeältä osasyyltä pieneen tuhoprosenttiin.

TAULUKKO 20. Alaharvennetun puuston yläharvennuksin käsitellyt (Yh) koeruudut

Ruutu	Pohjapinta-ala/ha 09 hakkuun jälkeen	Run- kolk/ha 09, hakkuun jälkeen	V. 09 hakkuun hakkuu- %	Tuhopuun osuus alkup. puuston ppa:sta	Runkolu- kupro- sentti	Keskilä- pimitta	Tuulitu- hopuiden määrä
<b>22</b>	<b>13,01</b>	<b>265</b>	<b>56</b>	<b>66</b>	<b>37</b>	<b>169</b>	<b>39</b>
<b>28</b>	<b>17,80</b>	<b>633</b>	<b>0</b>	<b>4,6</b>	<b>0,6</b>	<b>275</b>	<b>1</b>
30	20,96	532	0	8,3	3,6	160	5
33	6,00	399	83	24	7,4	125	8
113	13,64	463	32	31	8,6	189	7
126	10,36	395	44	14	14	187	10



Tuulituhopuiden keskiläpimitasta ei voi päätellä paljon mitään. Ruutu 22:ssa se on keskitasoa, ja ruutu 28:ssä selkeästi suurin. Suuriläpimittainen kuusi on epäilemättä altis kaatumiselle, varsinkin, jos se on heikentynyt.

Tuhoutumistavoissa oli eroa sen verran, että ruudulla 22 oli yleisin katkeamiskohta alin kolmannes, kun muissa se oli ylin kolmannes, lukuun ottamatta ruutua 30, jossa kaikki puut olivat kaatuneet. Katkeamiskohta ja se, että puu ylipäättänsä katkeaa, kertoo lähinnä puun kunnosta ja myrskyn voimakkuudesta ja luonteesta, eikä siitä tässä löydy selittäjää.

Ympäröivän puuston avoimuus näyttäisi olevan yhteydessä suureen tuhomäärään ruutu 22:lla, sillä sitä ympäröi kahdelta vastakkaiselta sivulta kaksi avohakkuualaa ja yhdellä Yh-ruutu (nro. 30). Neljäs sivu on kontrolliruutu, mutta kokonaisuudessaan ympäristö on hyvin avoin. Ruudun 28 ympäristö on myös suhteellisen avoin, siis ympäröivä puusto on melko harvaa, mutta yhtään avohakkuualaa sen ympärillä ei ole. Muiden ruutujen ympäristön avoimuus on ruudun 28 luokkaa.



KUVA 7. Alaharvennetun puuston yläharvennus (Yh) -koeruutu 28, (Kuva: Tommi Takala 2013)

TAULUKKO 21. Tuulituhopuun osuus (pohjapinta-ala), keskiarvo

	Vessari		Honkamäki
Käsittelytapa	Reuna	Keskus	Kaikki
Yh		14	12
N (ruudut, kpl)		4	2

Vessarin Yh-ruudut, sijaitsevat melko lähellä toisiaan, eikä tietoa ruuduittaisesta maala-  
jista tai topografiasta ole käytettävissä, joten näiden tekijöiden vaikutusta ei tässä tapa-  
uksessa voi arvioida. Verrattaessa Vessarin keskusruutujen ja Honkamäen ruutujen kes-  
kituhoprosentti keskenään, nähdään niiden olevan samaa tasoa (Taulukko 21).

Puuston tiheys, jossakin määrin hakkuun voimakkuus, ja ympäristön avoimuus näyttäisi  
tämän aineiston perusteella siis olevan yhteydessä tuulituhoriskiin.

### 8.8.2 Koeruutu 131 (Ah)

Myös ruutu 131:ssä oli huomattavan suuret tuulituhot muihin saman käsittelytavan met-  
siköihin verrattuna. Kaatuneita oli 26, katkenneita 2 ja voimakkaasti kallistuneita 3. Ah-  
ruuduille ei ole tehty hakkuita vuonna 2009, siksi hakkuuprosenttia ei ole mukana. Alla  
on samankaltainen taulukko kuin edellisessäkin vertailussa (Taulukko 22).

TAULUKKO 22. Alaharvennettu tasarakenteinen puusto (Ah)-koeruudut

Ruu- tu	Pohjapinta- ala/ha 09 hakkuun jälkeen	Run- kolk/ha 09, hak- kuun jälkeen	Tuhopuun osuus al- kup. puus- ton ppa:sta	Runkolukupro- senti	Keskiläpi- mitta	Tuulituhopui- den määrä
12	29,7	400	0	0		0
20	22,6	395	2,5	5,1	186	5
24	20,1	459	6,9	8,7	213	10
129	20,2	567	2,5	2,2	231	2
<b>131</b>	<b>22,2</b>	<b>564</b>	<b>31,9</b>	<b>34,4</b>	<b>207</b>	<b>31</b>
136	17,8	567	0	0		0

131:n vuoden 2009 pohjapinta-ala on keskiluokkaa, samoin runkoluku. Näillä ei näytä  
tässä olevan minkäänlaista yhteyttä tuhon suuruuteen. Tuhopuun osuus alkuperäisestä  
puuston pohjapinta-alasta on taas selkeästi suurin niin kuin oletettua, samoin runkolu-



kuprosentti. Ruutujen 129 ja 136 vähäiset tuulituhot selittää pääosin se, että ne ovat koivikkoja. Keskiläpimitta on keskiluokkaa, eli tuhoja eivät selitä erityisen järeät puut.

Kuvassa 8 on tuulituhopuomäärältään toiseksi eniten tuhoja kärsinyt Ah-koeruutu.



KUVA 8. Alaharvennettu tasarakenteinen puusto (Ah) -koeruutu 24, (Kuva: Tommi Takala 2013)

Honkamäen koeruutu 131 sijaitsee hyvin avoimella alueella, melko lähellä tietä, ja lähellä isoa lampea, siis koeruutujen alkupäässä, kivettömällä moreenilla, se on Vessarin Ah-ruutuja (12, 20 ja 24) karumpi. Koivikot 29 ja 36 sijaitsevat hyvin lähellä 131:tä. Vessarin Ah-ruudut ovat jakautuneet melko tasaisesti tutkimusmetsän eri puolille. Mikään niistä ei kuitenkaan sijaitse reunalla, siis hienojakoisemmalla maalla, vaan kivisellä hiekkamoreenilla, mikä puoltaisi niiden parempaa tuulenkestävyyttä. Keskimääräinen tuho- % onkin Honkamäellä Vessaria selkeästi suurempi (Taulukko 23).

TAULUKKO 23. Tuulituhopuiden osuus (pohjapinta-ala), keskiarvo.

	Vessari		Honkamäki
Käsittelytapa	Reuna	Keskus	Kaikki
Ah		3,1	12
N (ruudut, kpl)		3	3

Ympäröivä puusto on kaikilla Ah-ruuduilla melko avoin, lähes yhtä avoin kuin ruutu 131:ssä, joten ympäröivän puuston avoimuus ei ole selittävä tekijä.

Ainoa mahdollinen selittävä tekijä näyttäisi siis olevan maalaji, mutta tämä on hyvin epävarma tekijä, koska todellisesta maalajista ei ole tarkkaa tietoa. Toisaalta erot voivat johtua myös tuulen käyttäytymisestä, esim. puuskan kovin paine on osunut juuri kyseiselle kohdalle.

### **8.8.3 Koeruutu 114 (Jk)**

Myös tämä ruutu valittiin tarkastelun kohteeksi käsittelytapansa nähden suurten tuhojen vuoksi. Tuhoutuneita puita oli 23 kpl. Määrästä kaatuneita oli 14, katkenneita 7 ja selvästi kallistuneita 2. Ruudulle on tehty hakkuu vuonna 2009. Muiden Jk-ruutujen keskimääräinen tuhopuiden määrä on 6,4 kpl/ha.

Ruudun 114 tuhoprosentti (pohjapinta-ala) on 29 %, siis vasta toiseksi suurin ruudun 125 (tuhoprosentti 35 %, tuhopuiden määrä 22) jälkeen. Tämän selittää muun muassa pienempi pohjapinta-ala/ha, ja ehkä suuremmat tuulituhopuut.

Kuvassa 9 näkyy koeruudun 114 tuulituhoja mm. kuusia ja koivu. Pohjapinta-ala on hieman keskitason alapuolella.





KUVA 9. Jatkuvan kasvatuksen menetelmällä (Jk) käsitelty koeruutu 114, (Kuva: Tommi Takala 2013)

Ruudun 114 pohjapinta-ala hehtaarilla vuoden 2009 hakkuun jälkeen on  $10,6 \text{ m}^2$ , siis keskimääräistä ( $16,8 \text{ m}^2$ ) selvästi pienempi. Ei kuitenkaan pienin, vaan kahdeksanneksi pienin. Pienen pohjapinta-alan ja suuren pohjapinta-alan ruuduilla on selkeä ero tuhopuiden suhteellisessa määrässä ruudulla. Alle  $10,6 \text{ m}^2/\text{ha}$  ruuduilla tuhoutuneiden puiden osuus on keskimäärin  $15,1 \%$  (luvussa ei ole mukana ruutu 114), ja yli  $10,6 \text{ m}^2/\text{ha}$  ruuduilla keskimäärin  $3,1 \%$ . Vertailtava aineisto on varsin suuri, 31 ruutua.

Koeruudun 114 runkoluku on  $1319 \text{ kpl}/\text{ha}$ , siis kahdeksanneksi pienin tässäkin, kun se keskimäärin on  $1613 \text{ kpl}/\text{ha}$ . Keskimääräinen tuhoutuneiden runkojen prosenttiosuus kaikista ruudun rungoista runkoluvultaan alle  $1319 \text{ runkoa}/\text{ha}$  metsiköissä oli  $3,7$ . Kyseistä runkolukua suuremmilla ruuduilla prosenttiosuus on keskimäärin  $1,7 \%$ . Huomattava ero tässäkin.

Vuoden 2009 hakkuuprosentti oli  $57 \%$ , neljänneksi suurin, ja keskimäärin se oli  $35 \%$ . Tuho-  $\%$  on  $29 \%$ , ja kaikkien hakkuu- $\%$ :aan alle  $57,31 \%$  olevien ruutujen tuhoprosentti on  $5,34 \%$ , kun taas hakkuuprosenttiaan yli  $57 \%$  olevilla se on keskimäärin  $10 \%$ , siis

selvästi edellistä suurempi. Ruuduilla, joilla ei oltu tehty hakkuita vuonna 2009, oli selkeästi pienimmät tuhot.

Ruudun 114 tuulituhopuiden keskiläpimitta on 159 mm, 13. pienin, ja kaikilla Jk-ruuduilla keskimäärin 150 mm. Tuhoprosenttiin (pohjapinta-ala), joka 144:ssä on siis 29 %, läpimitaltaan keskimäärin alle 159 mm sisältävien puiden ruuduilla 4,2, ja yli 159 mm sisältävien puiden ruuduilla 7 %. Tämä tukee olettamusta siitä, että suuremmat puut kaatuvat pienempiä herkemmin, vaikka ruutu 114 ei puolla tätä johtopäätelmää. H/d-suhdetta ei tässä ole kuitenkaan otettu huomioon, mutta niin kuin tiedetään, ovat pienemmän h/d-suhteen puut kestävämpiä, ja keskimäärin pienin h/d-suhte on keskikokoisilla puilla.

Kuvan 10 koeruudulla 47 oli vain yksi tuhopuu, ja tiheys suurta: hakkuun jälkeinen pohjapinta-ala on Jk-ruuduista suurin, 32 m<sup>2</sup>/ha.



KUVA 10. Jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) käsitelty koeruutu 47, (Kuva: Tommi Takala 2013)

Ruutu 114 sijaitsee Honkamäen tutkimusmetsän lounais-reunalla, kivettömällä moreenilla. Mietittäessä maalajin vaikutusta kaatumisherkkyyteen, on hyvä verrata Vessarin reunaa, sekä keskiosien ja Honkamäen koeruutuja keskenään.

TAULUKKO 24. Tuulituhopuun osuus (pohjapinta-ala), keskiarvo

	Vessari		Honkamäki
Käsittelytapa	Reuna	Keskus	Kaikki
Jk	2,9	3,5	12
N (ruudut, kpl)	13	7	12

Taulukosta 24 nähdään, miten selkeästi suurempi Honkamäen Jk-ruutujen keskimääräinen tuulituhoprosentti on Vessarin ruutuihin verrattuna. Syitä tähän voi olla monia, mutta topografia ja maalaji eivät varmasti ole vähäisimpiä. Nimenomaan ruudun 114 suuriin tuulituhoihin näiden seikkojen näkökulmasta ei kuitenkaan voida pureutua tämän tarkemmin yksityiskohtaisten tietojen puuttumisen vuoksi.

Avoimuus ruudun 114 ympärillä on keskimääräistä hieman suurempaa, samoin toiseksi eniten tuhoja kärsineen ruudun 125, eli avoimuus ei ole kovin selkeä syy. Jk-ruuduilla ympäristön avoimuus korreloi jonkin verran tuhoprosentin kanssa, mutta poikkeamiakin on. Reunojen puustotuhot keskittyivät pääosin avoimien alojen reunoille. Tosin 114:ssa niistä suurin osa on ruudun keskiosissa.

Ruudun 114 tuulituholla näyttää olevan jonkin verran yhteyttä hakkuun jälkeiseen pystytuuston pohjapinta-alaan ja runkolukuun, ja hakkuuprosentilla selvästi suurempi yhteys. tuulituhopuiden keskiläpimitta ei korreloi tuhoprosentin kanssa ruudun 114 kohdalla, mutta keskimäärin kyllä.

Topografialla ja maalajilla on ruudun 114 kohdalla, ja yleisestikin yhteys tuhoprosenttiin, vaikka erot tuhoprosentissa muodostuvat monesta muustakin tekijästä. Avoimuudella on jonkin verran korrelaatiota niin yleisesti kuin ruudun 114 kohdalla.



#### 8.8.4 Koeruutu 110, Mm (määrämittahakkuin käsitelty)

Tarkasteltava koeruutu 110 sisältää 23 tuhopuuta, joista kaatuneita on 16 ja katkenneita 7. Muiden ruutujen keskimääräinen tuhopuumäärä on 2,1. Yhdelläkään Mm-ruudulla ei ole tehty hakkuuta vuonna 2009.

Kuvassa 11 on koeruutu 110, jonka vuoden 2009 hakkuun jälkeinen pohjapinta-ala on lähes 2,5 kertaa pienempi kuin muiden koeruutujen pohjapinta-ala keskimäärin.



KUVA 11. Määrämittahakkuin käsitelty (Mm) koeala 110, (Kuva: Tommi Takala 2013)

Taulukosta 25 näkee, että ruudun 110 pohjapinta-ala/ha vuoden 2009 hakkuun jälkeen on selvästi pienin, 9,5 m<sup>2</sup>/ha, kun se muilla ruuduilla on keskimäärin 22 m<sup>2</sup>/ha. Runkoluku taas on toiseksi pienin 2633, ja keskimäärin 3210 kpl/ha, mikä kertoo ruudun 110 keskimääräistä pienemmistä puista.

TAULUKKO 25. Määrämittahakkuin käsitelty (Mm) koeruodut

Ruutu	Pohjapinta-ala/ha 09 hakkuun jälkeen	Run- kolk/ha 09, hak- kuun jälkeen	Tuhopuun osuus alkup. puuston ppa:sta	Runkolukupro- sentti	Keskiläpi- mitta	Tuulituho- puiden määrä
2	24	3433	0,2	0,1	135	1
32	26	5700	0,9	0,07	275	1
35	21	2667	0			0
45	22	2667	0,9	0,7	133	4
105	20	2733	4,2	2	140	8
<b>110</b>	<b>9,5</b>	<b>2633</b>	<b>20</b>	<b>7,1</b>	<b>121</b>	<b>23</b>
119	17	2367	0			0
123	25	2900	0,5	0,2	162	1

Pohjapinta-alalla ja tuhoprosentilla on selkeä ainoastaan ruudulla 110, mutta runkoluvulla ja runkoluvun tuhoprosentissa yhteys on selkeämpi.

Keskiläpimitta on ruudulla 110 122 mm, ja muilla ruuduilla keskimäärin 169 mm. Tuhoprosentin ja keskiläpimitan välillä ei näytä olevan yhteyttä, tosin aineistokin on todella pieni.

TAULUKKO 26. Tuulituhopuun osuus (pohjapinta-ala), keskiarvo.

	Vessari		Honkamäki
Käsittelytapa	Reuna	Keskus	Kaikki
Mm	0,6	0,9	6,2
N (ruudut, kpl)	2	2	4

Myös Mm-ruuduilla tuhoprosentti on Honkamäellä keskimäärin huomattavasti korkeampi kuin Vessarissa, ja tätä eroa kasvattaa varsinkin ruutu 110 (Taulukko 26). Syynä tähän voi olla hienompi maaperä, mutta enempää ei tiedoista voi päätellä. Ainakaan ympäröivän puuston avoimuus ei puolla ruudun 110, tai muidenkaan ruutujen tuhoja.

Ruudun pohjapinta-alalla ja runkoluvulla on selvä yhteys tuulituhoihin, ja mahdollisesti myös maalajilla.

### 8.8.5 Alaharvennetun puuston normaalein suojuspuuhakkuin (Sjh) käsitelty koeruutu 118

Ruutu 118:ssa tuhopuita on 19, joista kaatuneita on 16 ja katkenneita 3. Muiden ruutujen keskimääräinen tuhopuumäärä on 8,7. Kuten taulukosta 27 näkee, on kaikilla ruuduilla tehty hakkuu vuonna 2009.

TAULUKKO 27. Alaharvennetun puuston normaalein suojuspuuhakkuin (Sjh) käsitelty koeruudut

Ruutu	Pohjapinta-ala/ha 09 hakkuun jälkeen	Runkolk/ha 09, hakkuun jälkeen	V. 09 hakkuun hakkuu-%	Tuhopuun osuus alkup. puuston ppa:sta	Runkoluku-%	Keskiläpimitta	Tuulituhopuiden määrä
18	11	233	65,1	27	32	241	15
38	11,3	200	63,2	9,4	10	245	6
43	11,4	200	65,7	12	12	266	6
101	11	267	62,5	29	25	280	9
104	9,4	233	62,8	87	85	249	11
<b>118</b>	<b>17</b>	<b>167</b>	<b>45,3</b>	<b>90</b>	<b>88</b>	<b>249</b>	<b>19</b>
120	15	267	49	14	60	297	5

Ruudun 118 hakkuun jälkeinen pohjapinta-ala on 16,96, siis suurin, kun se keskimäärin on 11,54. Tämä on yllättävää, ja poikkeaa muiden käsittelytapojen jakaumasta. Muutoinkaan pohjapinta-ala ei näyttäisi korreloivan kovin vahvasti tuulituhopuiden määrän kanssa. Tuhoprosentti on ruutu 118:ssa 90 % ja muilla ruuduilla keskimäärin 30. Tuhoprosentti kertoo lähinnä pohjapinta-alan ja tuulituhopuiden määrän suhteesta.

Hakkuun jälkeinen runkoluku puolestaan odotetun mukainen, 118:ssa pienin, 167, ja muilla ruuduilla keskimäärin 233. Runkolukuprosentti on 118:ssa 88 %, muissa keskimäärin 37 %. Muutoin runkoluku ei näyttäisi korreloivan tuulituhopuiden määrän kanssa.

Hakkuuprosentti on ruuduilla hyvin samaa luokkaa, mutta yllättäen pienin ruudulla 118. Hakkuuprosentilla ei näytä olevan yhteyttä tuhoprosenttiin.

Kuvasta 12 näkyy 118-ruudun tuhojen totaalisuus. Ruudulla oli mittaushetkellä pystyssä enää 3 kuusta, 1 koivu ja 1 mänty.



KUVA 12. Alaharvennetun puuston normaalein suojuspuuhakkuin (Sjh) käsitelty koeruutu 118 (Kuva: Tommi Takala 2013)

Läpimitta 118:lla on 249 ja muilla keskimäärin 263. Yhteyttä läpimitan ja tuhomäärän välillä ei näytä olevan.

TAULUKKO 28. Tuulituhopuun osuus (pohjapinta-ala), keskiarvo.

	Vessari		Honkamäki
Käsittelytapa	Reuna	Keskus	Kaikki
Sjh	117	27	64
N (ruudut, kpl)	2	1	4

Ruutu 118, sijaitsee Honkamäellä, jonka Sjh-ruutujen keskimääräinen tuhoprosentti on 64, siis huomattavasti suurempi kuin Vessarin ruutujen (Taulukko 28). Tämä puoltaa hienojakoisen maalajin tuulituhoilta altistavaa vaikutusta.

Kaikkien, ruutua 38 lukuun ottamatta ruutujen ympärillä on yksi avohakkuuala, mikä lisää tuulituhoriskiä. Ruudun 118 ympäristö ei kuitenkaan ole sen avoimempi kuin muidenkaan ruutujen. Muutoinkaan ympäristön avoimuudella ei näytä olevan yhteyttä tuhojen määrään.

Runkoluvulla on yhteys tuhoprosenttiin ainoastaan ruutu 118 kohdalla. Toinen mahdollinen selittäjä on maalaji. Muut tekijät eivät korreloi tuhoprosenttien välillä.

### 8.8.6 Loppupäätelmä

Loppupäätelmänä, yleistettynä tuulituhoriskiin kaikenlaisissa käsittelytavoissa, voidaan riskiä kasvattavina tekijöinä pitää metsikön pientä tiheyttä (pohjapinta-ala ja runkolu-ku), jonkin verran puuston kokoa (tässä tapauksessa läpimitan perusteella), hakkuun voimakkuutta ja siitä kulunutta aikaa sekä jossain määrin ympäristön avoimuutta. Maalajin yhteys tuhoprosenttiin näytti olevan selvä, mutta maalajitiedon epätarkkuudesta johtuen ei voida sanoa, että tässä tapauksessa näillä kahdella tekijällä olisi yhteyttä. Joissain käsittelytavoissa aineisto on ollut pieni, ja siksi tuloksiin voi sisältyä sattumaa.

## 8.9 Jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) ja jaksollisen kasvatuksen menetelmin (Ah, Sjh ja Välj) käsiteltyjen ruutujen vertailua

Seuraavassa vertaillaan jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) ja jaksollisen kasvatuk-sen menetelmin (Ah, Sjh ja Välj) käsiteltyjä ruutuja keskenään. Tarkoitus on saada enemmän selvyyttä jaksollisen kasvatuksen menetelmin käsiteltyjen metsiköiden tuu-lenkestävyydestä.

Jk-ruuduilla tuhoprosentin ja puuston tiheyden välinen korrelaatio ( $R^2 = 0,33$ ). on selväs-ti suurempi kuin Ryhmän 2 (tasarakenteisen metsänhoidon menetelmin käsitelty) ruutu-jen ( $R^2 = 0,16$ ). Tosin Ryhmän 2 eri käsittelytapojen ruutuja verrataan käsittelytavoit-tain, nousee korrelaatio merkittävästi, sillä Välj-ruuduilla korrelaatio on 1 ja Ah-ruuduilla 0,32. Poikkeuksena on Sjh-ruudut ( $R^2 = 0,005$ ) (käytetty tähän paremmin sopi-vaa potenssitrendivivaa). Tosin aineisto on Jk-ruuduilla paljon suurempi (32 ruutua) kuin Välj ruuduilla (3 ruutua), ja myös Ah ja Sjh-ruutuja on varsin vähän. Tästä syystä ei voida sanoa varmasti, vaikuttaako käsittelytapa puuston tiheyden ja tuhoprosentin suhteeseen, ja jos vaikuttaisikin, niin mistä se voisi johtua.



Myös vuoden 2009 hakkuiden voimakkuutta ja tuhoprosenttia tarkasteltaessa on Välj:ssä jälleen erityisen suuri korrelaatio ( $R^2 = 1$ ). Myös Sjh ( $R^2 = 0,43$ ) ja Jk ( $R^2 = 0,42$ )- ruuduilla korrelaatiokerroin on varsin korkea. Suuri korrelaatiokerroin tekee vertailuista luotettavampia, kun voidaan olettaa, että puuston tiheydellä ja hakkuun voimakkuudella on todella ollut merkitystä tuhomääriin.

Jk-ruutuihin verrataan seuraavassa Ah-, Sjh- ja Välj- ruutuja, koska niiden pohjapinta-ala on samaa luokkaa. Jk-ruuduilla se on keskimäärin 17 m<sup>2</sup>/ha, Ah-ruuduilla 22 m<sup>2</sup>/ha, Sjh-ruuduilla 12 m<sup>2</sup>/ha ja Välj-ruuduilla 17 m<sup>2</sup>/ha, kun lukuun otetaan myös ne ruudut, joilla ei ole tehty hakkuita vuonna 2009. Jos otetaan huomioon vain ruudut, joilla on tehty hakkuu vuonna 2009, ovat pohjapinta-alat Jk-ruuduilla keskimäärin 14 m<sup>2</sup>/ha, Sjh-ruuduilla 12 m<sup>2</sup>/ha ja Välj-ruuduilla 17 m<sup>2</sup>/ha. Toinen syy on se, että opinnäytetyön idea on nimenomaan verrata jatkuvan kasvatuksen menetelmillä käsiteltyjä (Jk) metsiköitä jaksollisen kasvatuksen menetelmillä käsiteltyihin metsiköihin, joita Ah-, Sjh- ja Välj-ruudut edustavat.

Ensin verrataan Jk-, Sjh- ja Välj-ruutujen välisiä tuulituheroihin vaikuttavia tekijöitä niillä ruuduilla, joilla on tehty hakkuu vuonna 2009. Nämä ruudut ovat hyvin vertailukelpoisia keskenään mm. samansuuruisen pohjapinta-alan ja viimeisimmän hakkuun ajankohdan ansiosta. Vertailua tehdään myös Jk-, Ah-, Sjh- ja Välj-ruutujen välillä, siten että myös sellaiset ruudut, joilla ei ole tehty hakkuita vuonna 2009 otetaan mukaan.

Taulukoissa 29 ja 30 on kaikki vertailua varten tarpeelliset tunnusluvut. Kaikkien Sjh- ja Välj- ruutujen hakkuut on tehty viimeksi vuonna 2009. Ah-ruuduilla taas ei ole tehty hakkuita vuonna 2009. Jk-ruuduilla hakkuita on tehty vuoden 2009 lisäksi myös muina vuosina.

TAULUKKO 29. Pohjapinta-alojen ja runkolukujen keskiarvot sekä vaihteluvälit, ja tuhoppuuprosentit käsittelytavoittain

Käsittelytapa	Jk – kaikki koeruudut	Jk – vuonna 2009 hakatut koeruudut	Ah – kaikki koeruudut	Sjh – kaikki koeruudut	Välj – kaikki koeruudut
Ppa/ha, keskiarvo	17	14	22	12	17
Ppa/ha, vaihteluväli	7,5–32	7,5–21	18–30	9–17	12–20
Runkoluku/ha, keskiarvo	1613	1547	492	224	373
Runkoluku/ha, vaihteluväli	929–2567	929–2033	395–567	167–267	233–433
Tuhopuiden määrä/ruutu, keskimäärin	6,9	9	8	11	6
Tuhopuiden määrä/ruutu, vaihteluväli	0–23	2–23	0–31	5–19	4–11
Tuhoppuuprosentti, ppa, keskiarvo	6,4	9	7,3	38	5,7
Tuhoppuuprosentti, ppa, vaihteluväli	0–35	0,4–35	0–32	9,4–34	1,2–12
Tuhoppuuprosentti, runkoluku, keskiarvo	2,3	3,2	8,4	26	5,7
Tuhoppuuprosentti, runkoluku, vaihteluväli	0–11	0,4–11	0–34	10–45	3,6–11
N (ruudut, kpl)	32	22	5	7	4

TAULUKKO 30. Vuoden 2009 hakkuun voimakkuuden (hakatun puuston määrä alkuperäisestä puustosta, %) keskiarvot sekä vaihteluvälit käsittelytavoittain

Käsittelytapa	Jk – kaikki koeruudut	Jk – vuonna 2009 hakatut koeruudut	Sjh – kaikki koeruudut	Välj – kaikki koeruudut
Hakkuiden poistumaprosentti, vuosi 2009, keskimäärin	35	50	59	32
Hakkuiden poistumaprosentti, vuosi 2009, vaihteluväli	0–69	35–69	45–66	25–40
N (ruudut, kpl)	32	22	7	4

### 8.9.1 Jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) ja jaksollisen kasvatuksen menetelmin (Sjh ja Välj) käsiteltyjen ruutujen vertailua ruuduilla, joilla on tehty hakkuu vuonna 2009

Jk- ja Välj ruutujen tuhoprosentit ovat hyvin samansuuruiset, Jk:lla jopa 2 prosenttiyksikköä suurempi. Toisaalta niiden keskimääräinen pohjapinta-alakin on lähes sama, Jk-ruuduilla 14 ja Välj-ruuduilla 17. Pohjapinta-alalla näyttää siis tässäkin vertailussa olevan selvä korrelaatio tuhoprosentin kanssa. Silti Sj-h ruuduilla se on hämmästyttävän

suuri. Runkoluvustakaan ei löydy selittäjää sillä niiden suhde ainakin Sjh- ja Välj- ruutujen välillä on samanlainen kuin pohjapinta-alojenkin. Jk-ruutujen keskimääräinen runkoluku on huomattavasti suurempi, noin seitsemänkertainen Sjh-ruutuihin nähden. Tämä johtuu siitä että Jk-ruuduilla on paljon myös pieniläpimittaisia puita.

Sjh-ruutujen suurta tuhoprocenttia voi selittää vuoden 2009 suuri hakkuun voimakkuus, joka on keskimäärin 59 %. Välj-ruuduilla se on keskimäärin 30 % ja Jk-ruuduilla 50 % alkuperäisen puuston määrästä. Yhdessä Välj-ruutujen noin 40 % pienemmän pohjapinta-alan kanssa erot hakkuun voimakkuudessa voivat hyvinkin selittää Sjh-ruutujen suuren tuhoprocentin. Myös sillä on merkitystä millainen tuuli on nämä tuhoppuut sattunut kaatamaan/ katkaisemaan ja sillä, että Välj-ruutuja on aineistossa vain kolme.

Puulajiosuudetkaan eivät selitä eroja, sillä kuusta on kaatunut jokaisen käsittelytavan ruudulla kaatunut samoissa määrin, siis ylivoimaisesti eniten, ja vertailuissa ei ole Välj-koivikkoa. Topografiaa ja maalajia on näiden tekijöiden huonon luotettavuuden takia turha ottaa mukaan vertailuihin.

### **8.9.2 Jatkuvan kasvatuksen menetelmin (Jk) ja jaksollisen kasvatuksen menetelmin (Ah, Sjh ja Välj) käsiteltyjen ruutujen vertailua kaikilla ruuduilla**

Taulukosta 29 nähdään, että Jk- ja Välj- ruutujen keskimääräinen pohjapinta-ala on sama 17 m<sup>2</sup>/ha. Myös niiden tuhoppumäärä (runkoa/ruutu) ja tuhoppuuprosentti (pohjapinta-ala ja runkoluku) ovat lähes samat. Hakkuuprosentti on Jk-ruuduilla Välj-ruutuja kolme prosenttiyksikköä suurempi, el käytännössä hakkuun voimakkuus on ollut samaa luokkaa.

Ah-ruuduilla on suurin pohjapinta-ala, mutta Ah-ruutuja yli kolme kertaa pienempi runkoluku. Siellä on siis Jk-ruutuja suurempi järeiden puiden osuus. Tuhopuiden määrä on Jk-ruutuja vähän suurempi, mutta runkolukuun nähden se on paljon enemmän. Tuhoppuuprosentti on tosin vain hieman Jk-ruutuja suurempi pohjapinta-alalla mitattuna, mutta runkoluvulla mitattuna se on 3,5-kertainen. Tulokset selittyvät ainakin pystypuuston runkoluvun ja järeyden eroilla Ah- ja Jk-ruutujen välillä. Näiden yhteys tuhomääriin näyttää olevan hyvin selvä. Sama koskee myös Välj- ja Jk- ruutujen välisiä tuhomäärä-eroja.

Jk-ruutujen keskimääräinen pystypuiden runkoluku vuonna 2009 hakatuilla puilla on vain 66 kpl/ha suurempi kuin kaikkien Jk-ruutujen keskimääräinen runkoluku ja ruutujen keskimääräinen tuhoprosentti (pohjapinta-ala) vain 2 prosenttiyksikköä suurempi. Runkoluvuittainen tuhoprosentti sitä vastoin on vuonna 2009 hakatuilla Jk-ruuduilla kolmanneksen pienempi. Tuhopuita/ruutu on näillä silti yksi puu enemmän. Tämä selittyy sillä, että vuonna 2009 hakatuilla ruuduilla on keskimäärin enemmän puita.

Erot kaikkien Jk-ruutujen ja vain vuonna 2009 hakattujen Jk-ruutujen välillä ovat sen verran pienet, että vertailut, jotka on tehty vuonna 2009 hakattujen Jk- ja Sjh-ruutujen välillä pätevät myös niiden Jk- ja Sjh-ruutujen vertailussa, joissa on lisäksi vuonna 2009 ei-hakatut ruudut. Näin varsinkin siksi, että Sjh-ruutujen tunnusluvut pysyvät samoina ja Sjh-ruutujen tuhomäärät ovat sen verran suuret Jk-ruutuihin nähden.

Kuitenkin, niin kuin tässäkin tutkimuksessa on aikaisemmin todettu ja vertailuissa tuloksista saatu, on myös hakkuun voimakkuudella merkittävä vaikutus tuulituhoihin (kappale 8.8.3). Aikaisempi vertailu vain vuonna 2009 hakattujen koeruutujen välillä on vertailukelpoisempi juuri siksi, koska molemmissa käsittelytavoissa kaikkien ruutujen viimeisin hakkuu on tehty samana ajankohtana. Lisäksi Sjh-käsittelytavan kaikkien ruutujen viimeisin hakkuu on tehty tuolloin vuonna 2009, toisin kuin Jk-ruutujen. Myös Välj-ruutujen viimeisin hakkuu on tehty vuonna 2009.

### 8.9.3 Loppupäätelmä

Tuhopuuprosentti pohjapinta-alalla mitattuna on Välj-ruuduilla keskimäärin pienin ja Jk-ruuduilla toiseksi pienin, otettiin vertailuihin mukaan sitten kaikki tai vain vuonna 2009 hakatut ruudut. Runkoluvun mukainen tuhopuuprosentti sen sijaan on Jk-ruuduilla pienin. Jk-ruudut näyttävät kaiken kaikkiaan olevan hyvin tuulenkestäviä, vaikka Jk-ruutujen välillä on paljon vaihtelua. Vaihtelua on melko paljon myös jaksollisen kasvatuksen ruutujen välillä, mutta se on kolmanneksen pienempää kuin Jk-ruuduilla.

Välj-ruutujen puusto keskimäärin on Jk-ruutujen puustoa kookkaampaa ja runkoluku pienempi. Näiden tekijöiden on todettu altistavan tuulituhoilta, mutta silti Välj- ja Jk-ruutujen tuhoprosentit ovat hyvin samansuuruiset. Välj-ruutujen pieni määrä voi olla yksi selittävä tekijä. Jk-ruuduilla on kaatunut suhteellisesti selvästi enemmän pieniläpi-

mittaisia puita kuin Välj-ruuduilla, joten puun pieni koko ei ole takuu tuhoilta säästymiselle. Lisäksi Jk-ruuduilla oli varsin paljon voimakkaasti kallistuneita pieniläpimittaisia puita, joista varsinkin koivut olivat lumen kallistamia.

Tuhopuuprosentti niin pohjapinta-alalla kuin runkoluvullakin mitattuna on vahvasti riippuvainen puuston tiheydestä, hakkuun voimakkuudesta ja jonkin verran puun koosta. Yhteys on varsin selvä myös tässä vertailussa.

Jatkuvan kasvatuksen metsikön ominaisuudet, melko suuri tiheys ja runkoluku, vaihteleva puukokojakauma ja koivuvaltaisempi puusto jaksollisen kasvatuksen tyypillisiin mänty- ja kuusivaltaisiin metsiköihin verrattuna ovat tuulituhoriskiä vähentäviä ominaisuuksia. On kuitenkin huomioitava, että aineistossa on hyvin eri voimakkuuksin käsitellyjä ja puustontiheydeltään toisistaan eroavia koeruutuja. Käytännönkin jatkuvan kasvatuksen metsiköissä on paljon eroavaisuuksia. Nämä johtuvat mm. viimeisimmän hakkuun ajankohdasta, jatkuvan kasvatuksen toteuttamistavoista ja puuston sekä ympäristötekijöiden asettamista rajoitteista ja menetelmän käyttöönoton ajankohdasta.

Jatkuvan kasvatuksen (Jk) ruutujen pienet tuulituhot jaksollisen kasvatuksen (Ah-, Sjh- ja Välj) ruutuihin verrattuna näyttävät siis selittyvän näiden metsiköiden puuston ominaisuuksien ja käsittelytoimenpiteiden eroavaisuuksilla. Vaikka jatkuvan kasvatuksen hakkuut voivat olla hyvinkin voimakkaita, keskittyvät ne pääasiassa tuulituholttiimpiin kookkaisiin puihin. Nuoremmalla puustolla on yleensä ollut hyvin aikaa sopeutua vaihteleviin tuuliolosuhteisiin, ja pieni aluspuusto hidastaa osaltaan tuulen etenemistä metsikössä.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tuulituhoja oli vähiten puustoltaan tiheimmillä koeruuduilla, niin pohjapinta-alalla kuin runkoluvullakin laskettaessa. Kumpikaan ei ollut toista selkeämpi indikaattori tuhoprosentista, koska ne kuvasivat samaa asiaa. Pohjapinta-ala ottaa kuitenkin huomioon myös puiden koon, vaikka se ei tietenkään yksinään kerro mitään puiden koosta. Puustoltaan tiheimpiä ruutuja olivat jatkuvan kasvatuksen menetelmillä käsitelty Jk- ja Mm- koeruudut sekä tietenkin hakkaamattomat kontrollit. Seuraavaksi tiheimpiä olivat jaksollisen kasvatuksen periaatteella käsitelty Ah-, Sjh- ja Välj- koeruudut. Harvimmassa asennossa kasvoivat SjhY- ja Yh- ruutujen puut, ja ne myös kärsivät suurimmat tuhot.

Tulokset tukevat hyvin mm. Peltolan näkemystä siitä, että yläharvennusta, varsinkin myöhäistä, tulisi käyttää vain harkiten, etenkin kuusella ja riskialueilla. Tulevaisuudessa neuvo on nykyistäkin varteen otettavampi. Tosin Peltola mainitsee, että topografia, sääolosuhteet ym. tekijät vaihtelevat Suomessa niin paljon, että samanlaisella hoidolla voi olla jopa päinvastaiset vaikutukset jollain toisella alueella. (Peltola, H. 2010) Voi silti hyvin olla, että SjhY- ja Yh- ruuduilla suuria tuhoja eivät aiheuttaneet nimenomaan yläharvennus, vaan harvennuksen suuri voimakkuus ja hakkuun jälkeinen puuston harvuus varsinkin SjhY-ruuduilla.

Yhdellä Sjh-ruudulla oli suurin tuhoprosentti (pohjapinta-ala ja runkoluku) kaikista koeruuduista, ja Sjh-ruutujen keskimääräinen tuhoprosentti on lähes yhtä suuri kuin SjhY-ruutujen. Siis myös tasarakenteismetsien suuresta tuulituhoherkkyydestä saatiin vahvaa näyttöä, erityisesti harvapuustoisien ja suuren hakkuupoistumaprocentin Sjh-aloilla. Näillä koeruuduilla puut olivat paitsi hyvin samankokoisia, myös varsin suurikokoisia. Tulokset puuston tiheyden vaikutuksesta tuulituhoherkkyyteen ovat yhteneväiset lähes kaikkien tätä työtä varten luettujen tutkimusten kanssa (mm. (Yli-Kojola 2004 ja 2005, Laiho1987, Peltola 2010 jne. sekä Wallentin & Skog 2013).

Puun sijainti ruudulla ei tehtyjen laskelmien perusteella korreloinut puun tuulituhoriskin kanssa, vaikka todellisuudessa riski on kuitenkin merkittävästi suurempi metsikön reunalla ainakin kontrolli- ja muilla tiheimmillä ruuduilla. Oletuksen vastaisia tuloksia selittää ainakin se, että mukana laskelmissa ovat kaikki, hyvin harvatkin ruudut, ja ti-

heiden ruutujen tuhopuiden vähäisyys. Samat tutkijat, joiden tutkimustulokset olivat yhteneväiset tämän työn puuston tiheysvaikutuksen kanssa, ovat pääosin päätyneet siihen, että mitä lähempänä avointa alaa puu sijaitsee, sitä alttiimpi se on tuulituhoille. Näin varsinkin silloin, jos puu on ollut suojaisemmassa asemassa vain vähän aikaa sitten, mutta esim. hakkuiden vaikutuksesta suoja on poistunut. Pitemmän aikaa reunalla kasvanut puu on sopeutunut sisempänä kasvavia puita paremmin tuuleen. Mitä harvempi puusto on, sitä vähemmän merkitystä puun sijainnilla metsikössä on tuulituhoriskin kannalta.

Puun koolla oli selvä yhteys suurempaan tuhoprosenttiin, silloinkin, kun verrataan tuhopuiden läpimittoja pystypuiden läpimittoihin. Suuremmat puut kaatuivat helpoimmin. Tosin pienen runkoluvun ruuduilla oli pääsääntöisesti myös suurin järeiden pystypuiden osuus. Myös tämä tulos on samansuuntainen edellä mainittujen tätä työtä varten käytettyjen tutkijoiden tutkimusten tulosten kanssa. Tosin Laihon tutkimuksessa ei männyn läpimitalla näyttänyt olevan väliä. Kuusen osalta tuulituhoherkkyys kasvoi jyrkästi puun läpimitan suurentuessa, herkkyyden ollessa isoilla puilla kuusinkertainen verrattuna pinotavarakokoisiin. (Laiho, O 1987, 10- 12.). Tässä opinnäytetyössä ei eritelty puulajeja niiden läpimitan mukaista tuulituhoherkkyyttä tarkasteltaessa, joten tähän ei tämän opinnäytetyön pohjalta voi ottaa kantaa. Muiden puulajien kuin kuusen pieni määrä tuulituhopuista tekisi erottelun muutenkin turhaksi.

Kuusta oli tuhoutunut määrällisesti eniten, mutta valtaosa puustosta oli alkuaankin kuusia. Suhteutettuna pystypuuston puulajisuhteisiin on kuusta kaatunut toiseksi eniten, ja mäntyä eniten vuosina 2009–2013. Koivua oli tuhoutunut suhteellisesti selvästi vähiten ja niistäkin suuri osa oli lumen kallistamia pikku puita.

Eino-myrskyssä suhteellisesti suurin tuho kohdistui haapaan jonka osuus kaikista tällöin tuhoutuneista puuyksilöistä on 3 %. Seuraavaksi suurin tuho kuuseen, jonka osuus kaikista tuhopuista on 91 % ja koivun 6 %. Mäntyä ei havaittu kaatuneen lainkaan.

Koko ruudun pystypuiden määrä/ha puulajeittain, oli useimmilla ruuduilla laskettu keskiympyrän puiden pohjalta, minkä takia puulajien suhteelliset osuudet eivät pidä täysin paikkaansa. Männyn ja haavan osuus koeruutujen puustosta on tosiasiaa pienempi kuin laskelmissa. Näitä puulajeja on suhteellisesti enemmän keskiympyrässä kuin muu-

alla ruudulla. Tuhopuissakin mäntyä ja haapaa oli sen verran vähän, että niiden suuri suhteellinen osuus pystypuista nousee turhan suureen rooliin, varsinkin kun tuhoutuneet puut, erityisesti haavat, olivat varsin pienikokoisia.

Kuusen suurin tuulituhoherkkyys maamme kolmesta pääpuulajista on todettu myös ainakin Laihon (1987) ja Yli-Kojolan (2004 & 2005) tutkimuksissa, Ville Kilpeläisen opinnäytetyössä (2011) sekä Maa- ja metsätalousministeriön päätösseminaaria varten tehdyssä esityksessä (mmm.fi 2010a). Tosin Yli-Kojola on vuoden 2005 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonannossaan *Metsikkö- ja puutuhojen ennustemallit* (Yli-Kojola 2005) maininnut, että yli 20 metrin valtapituudessa männiköiden tuulituhoriski on kuusikoita suurempia, mutta lyhemmissä puustoissa tilanne on päinvastainen. Tässä tutkimuksessa vähäinen mäntyjen määrä on tässäkin tapauksessa este tämän asian luotettavalle tutkimiselle.

Ympäristön avoimuus lisää tuulituhoriskiä, vaikka tämän tutkimuksen vertailuissa yhteys ei aina ollut näin selvä. Avoimemmalta alalta puhaltanut tuuli näytti kuitenkin kaata- neen eniten puita, mikä voidaan päätellä puun kaatumissuunnasta, ja siitä, että reunapui- ta oli kaatunut suhteellisesti eniten avoimemman sivun puolelta. Myös tämä tulos on yhteneväinen edellisessä kappaleessa mainittujen tutkimusten kanssa.

Saadut tulokset puoltavat vahvasti aikaisempien tuulituhotutkimusten tuloksia, vaikka maalajista ja topografiasta saaduista tuloksista ei voi vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä, koska ruuduittaiset maalajin ja topografian tiedot ovat hyvin epävarmoja tai ainakin epätarkkoja. Näin ollen merkittävät tuhoprosenttierot johtuvat todennäköisesti muista tekijöistä. On kiintoisaa miettiä, miksi Honkamäen tuhoprosentit eri käsittelyta- voissa olivat niin paljon suuremmat kuin Vessarissa. Tässä opinnäytetyössä eroja selit- tävää syytä ei ole löytynyt. Puuston tiheydestä ei löydy selittäjää ainakaan Jk-ruuduilla, koska Honkamäen Jk-ruutujen puusto (1667 runkoa/ha) on keskimäärin jonkin verran tiheämpää kuin Vessarin (1580 runkoa/ha) Jk-ruutujen.

Muiden tunnusten, esimerkiksi metsikön tiheyden, tuhoprosentin ja puun sijainnin ruu- dulla pohjalta saadut tulokset ovat sikäli yleistettäviä, että mittausaineistoa on runsaasti, ja se on riittävän tarkkaa. Päätulokset harvempien metsien ja suurimpien puiden suures- ta tuulituhoriskistä ovat selvästi nähtävissä.



Metsikön harvuus ei yksinään selitä tuhoalttiutta, vaan siihen vaikuttavat vahvasti hakkuusta kulunut aika, metsikön tiheys ennen hakkuuta ja hakkuun voimakkuus. Korrelaatio suuren hakkuuprosentin ja tuhoprosentin välillä oli selvä varsinkin harvimmissa metsiköissä (Jk-, Yh-, SjhY- ja Välj- ruudut). Hakkuun voimakkuuden vaikutus tuulituho-riskiin on helppo ymmärtää, ja sitä tukevat monet aiemmat tutkimustulokset. Alla on esimerkkejä tuloksista.

Laiho(1987) korostaa, että nimenomaan hakkuusta kuluneella ajalla on merkitystä. (Laiho1987).

Hongcheng (2006) taas on päätenyt siihen, etteivät hyvin intensiivisetkään avohakkuut merkittävästi muuta keskimääräistä tuulennopeutta metsäaluetasolla, vaikka paikallinen tuulennopeus kasvoikin. Vanhojen riskialttiiden metsien hakkuu jopa vähensi tuulituho-riskiä metsäaluetasolla lyhyellä tähtäimellä. Riskit lisääntyivät, kun hakattavaksi joutuivat pelkästään uudistuskypsät, yli 100 vuotta vanhat metsiköt, jolloin muut metsät joutuivat tuulituhon riskivyöhykkeeseen, jopa niin, että metsäaluetasolla riskit kasvoivat. (Hongcheng 2006.)

Wallentin & Skogin (2013) kokeiden tulosten mukaan harventaminen lisää myrskytuhojen riskiä ja harvennusten voimakkuuden ja myrsky- ja lumituhon välillä on vahva korrelaatio. Samoin myrskytuhot lisäävät tulevien myrskyjen vahinkoriskiä. Tuloksista laadittujen hoitosuosituksen mukaan kannattaisi käyttää sillä hetkellä taloudellisesti vähemmän tuottavia esiharvennuksia, ja voimakkuudeltaan lievempiä ensimmäisiä taloudellisia harvennuksia, sekä välttää riskialttiita myöhempiä harvennuksia. (Wallentin & Skog 2013).

Harvakin metsä voi olla kestävä tuulituhon vastaan, jos se on ollut samassa tiheydessä pidempään, ja mitä pidempään metsikkö on harvassa asennossa ollut, sen paremmin se on tottunut tuulen aiheuttamaan rasitukseen kehittymällä kestävämmäksi sitä vastaan.

Hakkuupoistumaprosentin vaikutusta tuhoprosenttiin ei ollut helppo arvioida, koska suuri hakkuupoistumaprosentti merkitsee myös pienempää tiheyttä, ja näiden vaikutusta

on hankala erottaa toisistaan. Hakkuuprosentin vaihtelu on samankin käsittelytavan sisällä suurta.

Näin ollen jos jatkuvan kasvatuksen metsikkö, joka jo ennen hakkuuta on ollut melko harva, harvennetaan suurimpia puita poistamalla, ei olisi hakkuun jälkeen niin altis tuhoille kuin esim. tasarakenteismetsikkö, jossa tuhoaltteimmat suurimmat puut jätetään kasvamaan. Lisäksi hakkuun jälkeen kasvamaan jäävien puiden hakkuuarvo ei ole jatkuvan kasvatuksen metsiköissä keskimäärin niin suuri kuin esim. jaksollisen kasvatuksen metsiköissä. Vaikka suurimpia puita kaatuisikin, niin tyhjää tilaa ei syntyisi, koska taimia ja pikku puita olisi lähellä korvaamassa menetystä.

Kappaleen 8.9 vertailussa johtopäätöksenä on se, että jatkuvan kasvatuksen (Jk) ruutujen pienet tuulituhot jaksollisen kasvatuksen (Ah-, Sjh- ja Välj) ruutuihin verrattuna selittyvät näiden metsiköiden puuston ominaisuuksien ja käsittelytoimenpiteiden eroavaisuuksilla, kuten esim. puuston suuremmalla tiheydellä. Nämä ovat jatkuvan kasvatuksen menetelmässä tuulituhoja vastaan suotuisimmat. Vaikka jatkuvan kasvatuksen hakkuut voivat olla hyvinkin voimakkaita, keskittyvät ne pääasiassa tuulituhoahtiimpiin kookkaisiin puihin. Nuoremmalla puustolla on yleensä ollut hyvin aikaa sopeutua vaihteleviin tuuliolosuhteisiin, ja pieni aluspuusto hidastaa osaltaan tuulen etenemistä metsikössä.

Poikkeuksen kestävyyydessä Jk-ruutuihin nähden tekevät Välj-ruudut, joissa tuhoprosentti on samaa luokkaa. Syynä tähän voi olla Välj-ruutujen pieni määrä ja Jk-ruutujen pienet lumen kallistamat puut. Monista epävarmuustekijöistä johtuen selkeää syytä ei tässä voida kuitenkaan antaa. Jatkuvan kasvatuksen ruutuja oli puusto- ja käsittelyvoimakkuusominaisuuksiltaan hyvin erilaisia, ja niillä ruuduilla, joilla puusto oli suhteellisen tiheää ja/tai hakkuu voimakkuus pientä, myös tuhot olivat selvästi pienemmät kuin esimerkiksi Välj-ruuduilla.

Jatkuvan kasvatuksen tavoin käsiteltyjen metsiköiden tuulituhojen tutkimusta ei ole juuri ainakaan Suomessa tähän mennessä tehty. Tämä työ toivon mukaan osaltaan vauhdittaa tutkimustyötä.

Ainakin myrskyt tulevat Suomessa mitä todennäköisimmin voimistumaan, vaikkei niiden määrä välttämättä lisäännä. Myös tuulituhojen on arvioitu lisääntyvän, mm. edellä mainitun myrskyjen voimistumisen ja roudan vähenemisen vuoksi. Jatkuva kasvatus eri muunnoksineen on entistä potentiaalisempi metsänkasvatusvaihtoehto, mikä kasvattaa luotettavan tiedon tärkeyttä. Tuulituhoihin kannattaa joka tapauksessa osata varautua ja parhaiten tämä onnistuu, kun tietää mitkä tekijät tuulituhoriskiin vaikuttavat ja miten voi omilla toimillaan vähentää metsänsä tuulituhoriskiä.

## LÄHTEET

Barry, R. Chorley, R. Atmosphere, Weather and Climate. Routledge 2010: 405

December 24, 2011 surface analysis. Luettu 6.1.2014.

[http://www.met.fu-berlin.de/de/wetter/maps/Analyse\\_20111224.gif](http://www.met.fu-berlin.de/de/wetter/maps/Analyse_20111224.gif)

December 26, 2011 surface analysis, 2014a. Luettu 7.1.2014.

[http://www.met.fu-berlin.de/de/wetter/maps/Analyse\\_20111226.gif](http://www.met.fu-berlin.de/de/wetter/maps/Analyse_20111226.gif)

December 26, 2011 surface analysis. 2014b. Luettu 7.1.2014.

<http://www.wetterzentrale.de/archive/2011/brack/bracka20111226.gif>

December 27, 2011 surface analysis. 2014. Luettu 7.1.2014.

[http://www.met.fu-berlin.de/de/wetter/maps/Analyse\\_20111227.gif](http://www.met.fu-berlin.de/de/wetter/maps/Analyse_20111227.gif)

elykeskus.fi 2013. Eino-myrskyn tuhot Etelä-Savossa. 20.11.2013. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Luettu 6.1.2014.

<https://www.elykeskus.fi/documents/10191/276041/Eino+myrsky+ESAELYn+vastaus+Mavin+selvityspyynt%C3%B6%C3%B6n/a8858297-4502-4ecc-b6c0-8e4b4b44fe19>

forest.fi. 2014a. Jaksollinen ja jatkuva metsänkasvatus. Luettu 7.1.2014.

<http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/allbyid2/9022BD97A0D3586BC225735500216FC3?OpenDocument>

Gardiner, B, Byrne, K, Hale, S, Kamimura, K, Mitchell, S, Peltola, H & Ruel, J. 2007. A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests. Forestry (2008) 81 (3): 447-463. Luettu 20.3.2014

Gardiner, B, Hale, S, Wellpott, A & Nicoll, B. The development of a wind risk model for irregular stands. Luettu 20.3.2014

[http://www.axelwellpott.org/index.php/component/docman/doc\\_download/11-the-development-of-a-wind-risk-model-for-irregular-stands.html](http://www.axelwellpott.org/index.php/component/docman/doc_download/11-the-development-of-a-wind-risk-model-for-irregular-stands.html)

Gardiner, B, Mrashall, B, Achim, A, Belcher, R & Wood, C. 2004. The stability of different silvicultural systems: a wind-tunnel investigation. Forestry (December 2005) 78 (5): 471-484. Luettu 21.3.2014

Hakkuusuunnitelma. 2009. Vilppulan tutkimusmetsän Vessarin ja Honkamäen koekentät (ks. karttakopiot). Viitattu 22.3.2014

HBL.fi 2011. Nyheter. På annandag jul drar årets värsta storm över landet. Luettu 6.1.2014.

<http://hbl.fi/nyheter/2011-12-25/pa-annandagen-kommer-stormen-0>

Hongcheng, Z. 2006. Influence of clear-cutting on the risk of wind damage at forest edges: A GIS-based integrated models approach. Joensuun yliopisto. Väitöskirja. Luettu 21.3.2014

<http://wanda.uef.fi/vaitokset/vaitos2.php?id=802>

Hongcheng, Z, T, Pukkala, Peltola, H & Kellomäki, S. 2010. Optimization of irregular-grid cellular automata and application in risk management of wind damage in forest planning. Canadian Journal of Forest Research, Volume 40, Number 6. Luettu 21.3.2014

Ihalainen, A & Ahola, A. 2003. Pyry ja Janika-myrskyjen aiheuttamat puuston tuhot. Metsätieteellinen aikakausikirja 3/2003: 385–401. Luettu 6.1.2014

Ilmatieteen laitos 2010a. Tiedotearkisto: 2010. Veera-myrsky rieppotteli Suomea keski-viikkona. Luettu 6.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1281003911>

Ilmatieteen laitos 2010b. Ennätysheiteet purkautuivat rajuihin ukkosiin 30.7.2010. Luettu 6.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/kesan-2010-rajuilmat>

Ilmatieteen laitos 2011. KATSAUS 1/11. Luettu 6.1.2014.

[http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedotearkisto?p\\_p\\_auth=Jljkwj3z&p\\_p\\_id=20&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=exclusive&p\\_p\\_mode=view&doAsUserLanguageId=fi\\_FI&\\_20\\_struts\\_action=%2Fdocument\\_library%2Fget\\_file&\\_20\\_folderId=42390&\\_20\\_name=DLFE-2803.pdf](http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedotearkisto?p_p_auth=Jljkwj3z&p_p_id=20&p_p_lifecycle=1&p_p_state=exclusive&p_p_mode=view&doAsUserLanguageId=fi_FI&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fget_file&_20_folderId=42390&_20_name=DLFE-2803.pdf)

Ilmatieteenlaitos 2013a. Tuuli ja myrskyt. Luettu 4.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/kysymyksia-tuuli-ja-myrskyt>

Ilmatieteenlaitos 2013b. Tuulet ja myrskyt. Luettu 4.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>

Ilmatieteenlaitos 2013c. Rajuilmat. Luettu 4.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/rajuilmat>

Ilmatieteenlaitos 2013d. Syöksyvirtaukset. Luettu 5.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/syöksyvirtaukset>

Ilmatieteenlaitos 2013e. Trombit. Luettu 5.1.2014..

<http://ilmatieteenlaitos.fi/trombit>

Ilmatieteen laitos 2013f. Tiedotearkisto: 2013. Eino – myrsky oli yksi 2000 – luvun voimakkaimmista syysmyrskyistä. Luettu 7.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1246480>

Ilmatieteen laitos 2014. Kesän 2010 rajuilmat. Luettu 6.1.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1280478632>

Iltalehti.fi 2013. Uutiset. Kotimaa. Seija-myrsky jopa voimakkaampi kuin Tapani. 13.12.2013. Luettu 7.1.2014.

[http://www.iltalehti.fi/uutiset/2013121317829798\\_uu.shtml](http://www.iltalehti.fi/uutiset/2013121317829798_uu.shtml)

Kaleva.fi 2002. Kotimaa. Janika ja Pyry tekivät pahojaan. 30.4.2002. Luettu 6.1.2014  
<http://www.kaleva.fi/uutiset/kotimaa/janika-ja-pyry-tekivat-pahojaan/453282/>

Kauppalehti.fi 2013. Uutiset. Seija-myrskyn tuhot arvioitua vähäisemmät. 17.12.2013. Luettu 7.1.2014.  
<http://www.kauppalehti.fi/etusivu/seija-myrskyn+tuhot+arvioitua+vahaisemmat/201312587963>

Kilpeläinen, V. 2011. Metsien tuulituhot ja niiden analysointi paikkatiedon avulla. Metsätalouden koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Luettu 20.3.2014  
<https://intra.tamk.fi/documents/11121/0/KirjallisenRaportoinninOhje2013.pdf/2db6c86f-2d22-47dd-8408-d86dd6f2a98c>

Laiho, Olavi. 1987. Metsiköiden alttius tuulituholle Etelä-Suomessa. Folia Forestalia 706. Helsinki. Metsäntutkimuslaitos. Luettu 21.3.2014

Laiho, O, sähköposti 12.1.2014. Tuulituho-opparista.  
 Vastaanottaja julia.salonen@eng.tamk.fi. Lähetetty 12.1.2014. Viitattu 22.3.2014

Laiho, O, sähköposti 24.3.2014. Aineistoa.  
 Vastaanottaja julia.salonen@eng.tamk.fi. Lähetetty 24.3.2014. Viitattu 1.4.2014

Laiho, O. sähköposti 2.4.2014. Tuhojakauma.  
 Vastaanottaja julia.salonen@eng.tamk.fi. Lähetetty 2.4.2014. Viitattu 3.4.2014

Maaseudun tulevaisuus.fi 2011. Tapanin myrsky repi suurtuhot metsiin. Luettu 6.1.2014.  
<http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/mets%C3%A4/tapanin-myrsky-repi-suurtuhot-metsiin-1.8771>

Maaseudun tulevaisuus.fi. 2013. Eino-myrskystä 60 miljoonan puutuhot. 20.11.2013. Luettu 7.1.2014.  
<http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/eino-myrskyst%C3%A4-60-miljoonan-puutuhot-1.51322>

Mason, W.L. 2002. Are irregular stands more windfirm? Forestry vol. 75. Issue 4. Luettu 21.3.2014

Mayer, H, Schindler, D. 2009. Proceedings of the, 2nd International Conference, Wind Effects on Trees. Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany 13-16 October 2009. Luettu 21.3.2014  
<https://www.meteo.uni-freiburg.de/forschung/publikationen/berichte/report19.pdf>

Mayera, P, Branga, P, Dobbertina, M, Hallenbarterb, D, Renaudc, J- P, Lo Waltherta, L& Zimmermann. Forest storm damage is more frequent on acidic soils. Ann. For. Sci. 62 (2005) 303-311 Luettu 26.3.2014

Metla.fi. 2014a. Myrsky. Luettu 4.1.2014

[http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit\\_kansi/abmyrs-n.htm](http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/abmyrs-n.htm)

Meteorologisk institutt. 2014. Norske ekstremvaer får navn. Luettu 6.1.2014.  
[http://met.no/Meteorologi/A\\_varsle\\_varet/Varsling\\_av\\_farlig\\_var/Norske\\_ekstremvar\\_f\\_ar\\_navn/Norske+ekstremv%C3%A6r+f%C3%A5r+navn.9UFRjO2L.ips](http://met.no/Meteorologi/A_varsle_varet/Varsling_av_farlig_var/Norske_ekstremvar_f_ar_navn/Norske+ekstremv%C3%A6r+f%C3%A5r+navn.9UFRjO2L.ips)

Metsäkeskus 2013. Metsänomistajat. Ajankohtaista. Uutiset. Seija-myrskyn aiheuttamat metsätuhot arvioidaan. 14.12.2013. Luettu 7.1.2014.  
<http://www.metsakeskus.fi/web/10156/27?artikkeli=1813853>  
 MetINFO-Metsien terveys. 2014a. LUMI. Luettu 7.1.2014.  
[http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit\\_kansi/ablumi-n.htm](http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/ablumi-n.htm)

mmm.fi 2010a. Hyvä metsänhoito estää tuulituhota. 1.6.2010. Luettu 20.3.2014  
[http://www.mmm.fi/fi/index/luonnonvarayhteisty/luonnonvarauutiset/100601\\_tuulituhot.html](http://www.mmm.fi/fi/index/luonnonvarayhteisty/luonnonvarauutiset/100601_tuulituhot.html)

mmm.fi 2010b. Hyvä metsänhoito estää tuulituhota. 1.6.2010. Luettu 7.1.2014.  
[http://www.mmm.fi/fi/index/luonnonvarayhteisty/luonnonvarauutiset/100601\\_tuulituhot.html](http://www.mmm.fi/fi/index/luonnonvarayhteisty/luonnonvarauutiset/100601_tuulituhot.html)

mmm.fi 2014a. Metsätuhoihin varaudutaan monin keinoin. Luettu 6.1.2014.  
[http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/metsien\\_hoito\\_kaytto/tuhoihin\\_varautuminen.html](http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/metsien_hoito_kaytto/tuhoihin_varautuminen.html)

MTV3-uutiset. 2010a. Veera-myrskyssä vuosikymmenen kovin salamointi. Luettu 6.1.2010.  
<http://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/veera-myrskyssa-vuosikymmenen-kovin-salamointi/1845898>

MTV3-uutiset 2010b. Kotimaa. Ilmatieteen laitos: Viime vuosien voimakkain myrsky. Luettu 6.1.2014.  
<http://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/ilmatieteen-laitos--viime-vuosien-voimakkain-myrsky/1845838>

MTV3-uutiset. 2012. Kotimaa. Tätäkö luvassa taas keskiviikkona? – Tapani- ja Hannu-myrskyt lukuina. Luettu 7.1.2014.  
<http://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/tatako-on-luvassa-taas-keskiviikkona---tapani--ja-hannu-myrskyt-lukuina/1875660>

MTV3-uutiset. 2013a. Kotimaa. Oskari-myrskyn tuulihuippu kovempi kuin Eino-myrskyssä. Luettu 7.1.2014.  
<http://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/oskari-myrskyn-tuulihuippu-kovempi-kuin-eino-myrskyssa/2424544>

MTV3-uutiset. 2013b. Kotimaa. Oskari-myrskyn tuulihuippu kovempi kuin Eino-myrskyssä. 24.11.2013. Luettu 7.1.2014.  
<http://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/tana-vuonna-vahan-myrskyja---voimistuvatko-myrskyt-tulevaisuudessa-/2410652>

myrskybongarit.fi 2012. Tapani ja Hannu- myrskyt lähihistorian pahimmat. 4.1.2012. Luettu 7.1.2014.

[http://www.myrskybongarit.fi/myrskybongarit/index.php?option=com\\_content&view=article&id=101:tapani-ja-hannu-myrskyt-laehihistorian-pahimmat&catid=3:uutiset&Itemid=2](http://www.myrskybongarit.fi/myrskybongarit/index.php?option=com_content&view=article&id=101:tapani-ja-hannu-myrskyt-laehihistorian-pahimmat&catid=3:uutiset&Itemid=2)

Peltola, H, Ikonen, V- P, Väisänen, H, Strandman, H, Heinonen, T, Pukkala, T Kellomäki, S, Venäläinen, A & Gregow, H. Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa. Luettu 21.3.2014  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:uGKhKaDaRcAJ:www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutuminen/5w30DNfRT/Peltola\\_Heli\\_\\_ISTO-paatosseminaari.pdf+&cd=3&hl=fi&ct=clnk&gl=fi](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:uGKhKaDaRcAJ:www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutuminen/5w30DNfRT/Peltola_Heli__ISTO-paatosseminaari.pdf+&cd=3&hl=fi&ct=clnk&gl=fi)

Peltola, H. 2010. Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa. Loppuraportti. Ilmastomuutoksen sopeutumistutkimusohjelma ISTO:n hankeseminaari 17.3.2010. Helsinki. Luettu 21.3.2014.  
[http://www.finessi.info/ISTO/files/ISTO\\_hankkeet\\_tuuli\\_ja\\_lumituhot\\_loppuraportti\\_27\\_4\\_2010.pdf](http://www.finessi.info/ISTO/files/ISTO_hankkeet_tuuli_ja_lumituhot_loppuraportti_27_4_2010.pdf)

Pukkala, T. & Lähde, E. 2013. Alikasvoksesta ylispuuksi. Joensuu. Joen Forest Program Consulting. Luettu 20.3.2014.

Pukkala, T, Lähde, E & Laiho, O. 2013. Metsän jatkuva kasvatus. Joensuu, Hyvinkää ja Parkano. Joen Forest Program Consulting. Luettu 20.3.2014.

Tekniikka & talous 2014. Puolustusvoimat alkaa kuvata metsätuhoja. Luettu 6.1.2014.  
<http://www.tekniikkatalous.fi/metsa/puolustusvoimat+alkaa+kuvata+metsatuhoja/a485138?service=mobile&page=4>

Tähtitieteellinen yhdistys URSA 2010. Myrskykuvat - Arkistot: Elokuu 2010. Luettu 6.1.2014.  
<https://www.ursa.fi/blogit/myrskykuvat/index.php/2010/08/?blog=16>

Valkonen, S, Siren, M, Piri, T. 2010. Poiminta- ja pienaukkohakkuut – vaihtoehtoja avohakkuulle. Tampere. Metsäkustannus Oy. Luettu 20.3.2014.

Viisanen, Y, Tuomenvirta, H. 2009, 6. Ilmatieteen laitos. Päättäjien 27. Metsäakatemia. Seminaarijakso, Majvik 16.9.2009. Luettu 20.3.2014.  
[http://www.forest.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid/21CB24AF77C032FAC22576460040168B/\\$file/PMA27-Yrj%C3%B6Viisanen.pdf](http://www.forest.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid/21CB24AF77C032FAC22576460040168B/$file/PMA27-Yrj%C3%B6Viisanen.pdf)

Wallentin, C & Skog, H. 2013. Storm- and snow damages in a Norway spruce - thinning experiment in Southern Sweden. Forestry (2014) 87 (2): 229-238. Luettu 22.3.2014

Yle.fi 2010. Etelä-Savon hätäkeskus tiedottaa, klo 10.00 30.7.2010. Luettu 6.1.2014.  
[http://yle.fi/uutiset/etela-savon\\_hatakeskus\\_tiedottaa\\_klo\\_1000/1867192](http://yle.fi/uutiset/etela-savon_hatakeskus_tiedottaa_klo_1000/1867192)

Yli-Kojola, H. 2004. Tuulituhojen esiintyminen Suomen metsissä 1986- 94. Metsätieteen aikakauskirja 1/2004. Luettu 20.3.2014.

Yli-Kojola, H. 2005. Metsikkö- ja puutuhojen ennustemallit, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 948. Vantaa. Hakapaino Oy. Luettu 20.3.2014.



Liite 1. Vessarin koekenttä

Vessarin koekenttä									
Eryttäviä hakkuu 1985, seuraavat 1994, 2002 ja 2009, viimeinen monilla A-h-puudulla uudistushakkuuna									
<div><div>Ah</div><div>Ah-havennettu (Ah) tasarakenteinen puusto</div></div> <div><div>Vaij</div><div>Ah-puuston väljemyshakkuu, jätetään 400 kpl/ha</div></div> <div><div>Sjh</div><div>Ah-puuston normaali suojuspuuhakkuu (Sjh), jätetään 200 kpl/ha</div></div> <div><div>Avo</div><div>Avohakkuu s. 2009, ruudut 21, 42, 50 muokattiin ja viljeltiin 2010, muut luontaisesti</div></div> <div><div>Yh</div><div>Ah-puuston ylhärvennus, jätetään 400 kpl/ha (v. 2002-600)</div></div> <div><div>SjhY</div><div>Ah-puuston Yh-luontainen Sjhy, jätetään 200 kpl/ha</div></div> <div><div>Erä</div><div>Eräkaiteinen puusto, kasvatetaan jatkuvan kasvatuksen (Jk) hakkuulla</div></div> <div><div>Mm</div><div>Määrämittahakkuulla (d1,3 &gt; 9 cm) vuonna 1985 kasvatettu puusto, eräkaiteinen</div></div> <div><div>K</div><div>Kasvateluksen kontrolli, eräkaiteinen</div></div>									
Kokikko									
Kokemuksia 0,25 ha (50x50 m)									
38 0,73 0,82 43 0,96 0,82	36 0,58 0,94 38 0,79 0,80	37 0,69 0,68 30 0,61 0,66	47 1,11 1,05	34 0,57 0,74	32 0,56 0,83	Ppa eh 1985, kasvu 1994-02 ja 2003-08 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			
45 0,80 0,80 25 47 1,25	43 0,30 28 42 0,23	23 0,32 18 40 0,16	45 39 1,45	23 38 0,61	20 37 0,67	Ppa hj 1985, koekalan numero, kasvu 2009-11 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			
14 Sjhy 29 Jk	21 Avo	20 Sjhy	46 K	20 Sjhy	14 Vaij	Ppa hj 1994, kasvatelu			
20 10,7 267 36 319 2567	23 Sjhy	27	54 56,5 4087	26 12,1 200	19 18,8 400	Ppa hj 2002 sekä ppa ja runkokoku 2011			
35 0,90 0,98 31 0,73 0,73	21 43 0,30	35 0,78 0,70	31 0,88 0,85	31 0,83 0,92	31 0,69 0,65	33 0,77 0,89	46 0,81 0,88	54	
3 45 1,22 18 44 0,48	20 28 0,88	23 29 0,48	22 31 0,62	40 32 0,64	19 33 0,44	6 35 0,79	31 36 0,87		
7 Mm 10 Jk	23 Sjhy	21 Avo	18 Jk	14 Mm	22 Yh	8 Mm	36 Jk	Hyl	
45 24,4 2433 17 7,5 1067	29 0,53 0,50	34 0,78 0,70	21 15,9 387	27 20,6 533	25 15,9 1401	15 22,4 2400	28 34,9 1900		
33 0,82 0,81 29 0,53 0,50	31 0,75 0,72	35 0,78 0,84	32 0,82 0,77	31 0,88 0,85	31 0,83 0,92	33 0,77 0,89	46 0,81 0,88	38 0,89 0,85	
16 26 0,23 8 27 0,41	20 28 0,88	23 29 0,48	22 31 0,62	40 32 0,64	19 33 0,44	6 35 0,79	31 36 0,87		
16 Avo 10 Vaij	20 Yh	21 Vaij	18 Jk	14 Mm	22 Yh	8 Mm	36 Jk	46 0,83 0,70	
15 11,9 433 27 19,9 633	21 15,9 387	27 20,6 533	25 15,9 1401	21 27,5 5633	29 5,3 400	15 22,4 2400	28 34,9 1900		
28 0,43 0,31 32 0,51 0,57	39 0,53 0,52	34 0,60 0,83	37 0,56 0,56	44 0,67 0,75	33 0,88 0,88	38 0,82 0,84	27 0,59 0,59	38 0,85 0,84	38 0,89 0,85
14 25 0,15 25 24 0,55	30 23 0,24	23 22 0,35	25 21 0,33	21 20 0,81	23 19 0,22	18 18 0,39	16 17 0,24	25 16 0,87	42 15 0,85
15 Sjhy 13 Ah	24 Avo	18 Yh	21 Avo	11 Ah	23 Avo	21 Sjhy	17 Sjhy	46 Jk	48 K
18 3,8 233 16 21,2 487	22	24 7,7 267	28	47 23,8 400	23	27 10,5 200	22 4,9 200	23 23,3 1433	51 53,7 3087
39 0,89 0,87 35 0,54 0,87	30 0,59 0,84	47 0,67 0,85	41 0,67 0,56	41 0,99 0,88	34 0,88 0,86	39 0,87 0,84	42 0,87 0,88	41 0,48 0,63	35 0,78 0,77
22 4 0,66 27 5 1,36	22 6 0,88	46 7 0,86	25 8 0,82	24 9 0,97	26 10 0,31	38 11 0,60	20 12 1,01	28 13 0,23	24 14 0,71
9 Jk 32 Jk	22 Vaij	47 K	16 Jk	28 Jk	30 Avo	40 Jk	25 Ah	25 Avo	25 Jk
15 12,1 893 38 25,9 1433	20 20,0 433	50 54,8 3200	22 19,3 1200	24 31,8 1900	37	29 10,5 1287	31 31,9 600	23	25 18,8 1987
37 0,90 0,92 34 0,96 1,00	40 0,96 1,02	56 0,91 0,78	28 55 0,76	44 1,14 1,07	40 0,77 0,77	37 0,61 0,79	39 0,90 0,79	36 1,18 1,02	39 0,82 0,65
24 1 1,07 7 2 0,91	31 3 0,88	28 55 0,76	18 Jk	42 48 0,92	20 49 0,36	27 27 0,27	23 51 0,82	27 57 1,38	26 52 0,47
28 Jk 9 Mm	24 Jk	18 Jk	26 20,4 1733	45 Jk	23 Sjhy	22 Avo	19 Jk	30 Jk	11 Jk
23 16,4 1733 18 28,0 3200	23 21,0 2033	26 20,4 1733	30 0,87 0,74	44 48 0,92	20 49 0,36	27 27 0,27	23 51 0,82	27 57 1,38	16 9,6 1200
			13 Jk	45 Jk	23 Sjhy	22 Avo	19 Jk	30 Jk	
			21 17,3 1533	31 19,4 1633	30 5,0 200	29	27 20,0 1333	38 32,1 2333	



Liite 3. Vessari – Kaikkien tuhopuiden määrä ja sijoittuminen koeruuduilla yhdistettynä, 5x5 m ruutuihin jaettuna

9	5	8	9	6	3	4	6	3	5
1	4	4	3	3	2	0	0	0	3
4	2	2	2	1	1	0	1	1	2
2	3	1	1	2	2	1	2	0	1
1	1	1	4	10	12	1	3	4	3
4	2	5	1	17	14	4	3	0	3
1	4	2	1	1	4	2	1	4	3
8	4	1	1	2	2	0	2	1	4
4	3	3	2	5	6	3	1	4	0
9	5	8	9	6	3	4	6	3	5

Liite 4. Honkamäki – Kaikkien tuhopuiden määrä ja sijoittuminen koeruuduilla yhdistettynä, 5x5 m ruutuihin jaettuna

6	2	3	6	6	2	1	9
2	10	3	6	2	0	5	7
10	4	3	4	4	1	1	7
4	1	3	28	18	2	3	6
6	2	1	21	9	3	1	3
2	3	1	0	1	3	4	2
3	7	1	1	2	2	2	4
6	4	4	2	3	5	6	7